

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΦΥΤΩΝ
ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ»**



Επιβλέπων Καθηγητής: Νικ. Γ. Δαναλάτος
Επιμέλεια : Παβέλη Μαρία

**«Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΛΛΑΔΑ»**

Εξεταστική επιτροπή:

Εξεταστική τριμελής επιτροπή :

Δαναλάτος Νικόλαος, Καθηγητής.

Δημήρκου Ανθή, Καθηγήτρια.

Χα Ιμπραχίμ-Αβραάμ, Καθηγητής.

Ευχαριστίες :

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Νικόλαο Δαναλάτο για την υπόδειξη του θέματος αλλά και για την καθοδήγηση και συμπαράσταση κατά την εκπόνηση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή Χα Ιμπραχίμ-Αβραάμ και την καθηγήτρια Δημήρκου Ανθή για τις διορθώσεις και υποδείξεις που μου έκαναν, ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Ευχαριστώ τους γονείς μου Βασίλειο και Ειρήνη για την αμέριστη στήριξη και συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια, χωρίς τους οποίους δεν θα μπορούσα να αποκτήσω το μεταπτυχιακό μου δίπλωμα. Ευχαριστώ τον Διδάκτωρα Γεωπονικών Επιστημών Κο Μπαρτζιάλη Δημήτριο και την υποψήφια Διδάκτωρα Κα Σκουφογιάννη Ελπινίκη ,που εργάζονται στο εργαστήριο Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας φυτών, για τις υποδείξεις και τη βοήθειά τους για την εκπόνηση και ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Περιεχόμενα

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....	13
1.1 Βιομάζα.....	13
1.2 Μετατροπές της βιομάζας	16
1.3 Ενεργειακή γεωργία και ενεργειακές καλλιέργειες.....	17
1.4 Περιβαλλοντικά οφέλη από την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών.....	19
1.5 Βιοκαύσιμα	20
1.5.1 Βιοαιθανόλη	20
1.5.2 Βιοντίζελ	21
1.5.3 Γεωργική βιομάζα	23
1.5.4 Δασική βιομάζα.....	24
1.6 Προοπτικές χρήσης βιομάζας και βιοκαυσίμων.....	24
B. ΤΟ ΣΟΡΓΟ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ	27
1. Βιολογία	29
1.1 Βοτανική ταξινόμηση	29
1.2 Καταγωγή και εξάπλωση- Είδη και Χρήσεις.....	30
1.2.1 Ιστορική εξέλιξη	30
1.2.2 Είδη και χρήσεις σόργου	32
2. Βελτίωση	33
3. Βοτανικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	36
3.1 Ριζικό σύστημα	36
3.2 Βλαστός	38
3.3 Φύλλα.....	41
3.4 Αναπαραγωγικά όργανα	42
3.5 Καρπός.....	43
4. Φαινολογία – Στάδια Ανάπτυξης.....	44
4.1.1 Στάδιο φυταρίου	45
4.1.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης.....	46
4.1.3 Στάδιο ανθοφορίας	47

4.1.4 Στάδιο ωρίμανσης	48
5. Οικολογία και Περιβαλλοντικές απαιτήσεις	49
5.1 Οικολογία	49
5.2 Θερμοκρασία	50
5.3 Φωτοπερίοδος	50
5.4 Βροχόπτωση και Υγρασία	51
5.5 Έδαφος	53
5.6 Ακτινοβολία	54
6. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ	57
6.1 Αμειψισπορά	57
6.2 Προετοιμασία εδάφους	59
6.3 Σπορά	61
6.3.1 Πυκνότητα φυτών	61
6.3.2 Χρόνος σποράς.....	62
6.3.3 Έλεγχοι και χειρισμός του σπόρου	63
6.3.4 Μέθοδος σποράς	64
6.4 Άλλες καλλιεργητικές εργασίες	65
7. Στάδια Αύξησης - Ανόργανη θρέψη- Λίπανση	66
7.1 Αύξηση και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων.....	66
7.1.2 Άζωτο.....	70
7.1.3 Φώσφορος - Κάλιο	75
7.1.4 Λοιπά θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία.....	76
8. Έλεγχος ζιζανίων	76
8.1 Προφυτρωτική ζιζανιοκτονία	78
8.2 Μεταφυτρωτική ζιζανιοκτονία	79
9. Άρδευση	79
9.1 Γενικές πληροφορίες.....	80
9.2 Πρακτική αρδεύσεων	81
10. Συγκομιδή και αποθήκευση	86
10.1 Συγκομιδή και αποθήκευση γλυκού σόργου	86
10.2 Συγκομιδή και αποθήκευση ινώδους σόργου	89
11. Προσαρμοστικότητα-Παραγωγικότητα- Αποδόσεις.....	92
12. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	96

12.1 Χρήσεις της καλλιέργειας.....	96
12.1.1 Χρήσεις του γλυκού σόργου	96
12.1.2 Χρήσεις του ινώδους σόργου	97
12.2 Παραγωγή μη ενεργειακών προϊόντων	98
12.2.1 Παραγωγή ζάχαρης	98
12.2.2 Παραγωγή χαρτιού και ξυλιτόλης.....	101
12.2.3 Παραγωγή οργανικού λιπάσματος	102
12.3 Παραγωγή ενεργειακών προϊόντων.	103
12.3.1 Παραγωγή βιοκαυσίμων από γλυκό σόργο.....	103
12.3.2 Παραγωγή αιθανόλης	104
12.3.3 Παραγωγή στερεών καυσίμων	111
12.3.4 Παραγωγή βιοαερίου και βιουδρογόνου.....	113
12.4 Αξιοποίηση της καλλιέργειας	114
12.5 Προοπτικές για την Ελλάδα.	116
13. Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα καλλιέργειας Σόργου	119
14. Οικονομικά στοιχεία καλλιέργειας σόργου	121
15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	124
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127
ΞΕΝΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127
ΕΛΛΗΝΙΚΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	147

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 17 φορές τον προηγούμενο αιώνα και η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα, το οποίο συμμετέχει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξήθηκε κατά 27% τις δύο τελευταίες δεκαετίες φτάνοντας τα 360 ppm, ενώ στην ίδια περίοδο σημειώθηκε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της υδρογείου κατά 0,5 βαθμούς Κελσίου. Εάν κατά τα προσεχή έτη δεν μειωθεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων, στην οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο οι εκπομπές των αερίων CO₂, SO₂ και NO_x που αποτελούν βασικούς συντελεστές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αναμένεται περαιτέρω θερμοκρασιακή αύξηση 2-5 βαθμούς Κελσίου και πιθανή αύξηση της στάθμης της θάλασσας κατά 1,8-2,4 μέτρα, ως αποτέλεσμα των συντελούμενων κλιματικών αλλαγών. Επίσης, η τρύπα του όζοντος το έτος 2000 έφτασε τα 28,3 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, έκταση τριπλάσια περίπου από αυτή των ΗΠΑ (UNEP, 2002).

Το 80% της συνολικά χρησιμοποιούμενης πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως (UNEP, 2004) και το 87% περίπου της εμπορεύσιμης πρωτογενούς ενέργειας ικανοποιείται από ορυκτά καύσιμα. Ο ετήσιος μέσος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο για την περίοδο 1990-2001 ήταν 1,5% οπότε αναμένεται διπλασιασμός της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας μεταξύ 2000 και 2040 και τριπλασιασμός μέχρι το 2060 (UNEP, 2004). Μάλιστα, σύμφωνα με πολλούς ερευνητές, τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου αναμένεται να έχουν εξαντληθεί πριν τα μέσα του 21^{ου} αιώνα.

Συγχρόνως, η χρήση της ενέργειας συμβάλει κατά 60% στην ανθρωπογενή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (επιπλέον 15% η χρήση χημικών, 12% η γεωργία, 9% η αλλαγή χρήσεων γης και 4% άλλες ανθρωπίνες δραστηριότητες) ενώ η ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται κατά 50% στις εκπομπές CO₂ (Demirbas, 2004). Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 26

δισεκατομμύρια τόνοι με το 80% να προέρχεται από την χρήση των ορυκτών καυσίμων (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α).

Οι αλλαγές που παρατηρούνται στον ενεργειακό τομέα είναι ριζικές, και μοιραία θα επηρεάζουν μακροπρόθεσμα την οικονομική πορεία όλων των χωρών. Σήμερα λοιπόν, περισσότερο από κάθε άλλη προηγούμενη παρόμοια κατάσταση, παρουσιάζεται επιτακτική η ανάγκη εμπειριστατωμένης ανάλυσης της υφιστάμενης ενεργειακής κατάστασης κάθε χώρας και ο μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός, για την όσο το δυνατό αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της διαμορφούμενης νέας ενεργειακής εποχής, και της αποφυγής των ανεξέλεγκτων οικονομικών κραδασμών που προκύπτουν από αυτήν.

Οι ενεργειακοί αυτοί κλυδωνισμοί γίνονται περισσότερο ανησυχητικοί συνδυαζόμενοι με τα διογκούμενα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν κατά βάση από την συνεχή χρήση ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με την παγκόσμια βιομηχανική έκρηξη, και ιδιαίτερα την αλματώδη ανάπτυξη των γιγάντιων Ασιατικών χωρών όπως η Ινδία και η Κίνα.

Η διαμορφούμενη αυτή παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση αντανakλά και εκφράζεται σε διάφορα επίπεδα, όπως το κοινωνικό, το ενεργειακό, και το περιβαλλοντικό.

Στο κοινωνικό επίπεδο, το κύριο θέμα είναι οι συνεχώς αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου και οι συμπαρασυρόμενες από αυτές τιμές των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων. Οι διαμορφούμενες τιμές, παρά τις φυσιολογικές διακυμάνσεις, φαίνεται πως δεν πρόκειται στο μέλλον να ξαναβρεθούν στα επίπεδα των περασμένων δεκαετιών, προκαλώντας έτσι μια συνεχώς εντεινόμενη αδυναμία των χαμηλότερων εισοδηματικά στρωμάτων να ανταποκριθούν στις εξάρσεις των τιμών.

Στο ενεργειακό επίπεδο φαίνονται να εμπλέκονται διάφορα πεδία, έχοντας στο επίκεντρο το πετρέλαιο, και δίπλα σ' αυτό τις υπόλοιπες συμβατικές μορφές ενέργειας. Σε σχέση με το πετρέλαιο γεννάται το ερώτημα είναι αν η παραγωγή του έχει ήδη αγγίξει το μέγιστο (peak-oil) ή αν αυτό θα εμφανιστεί αργότερα, ίσως μέσα στην επόμενη δεκαετία.

Εκείνο πάντως που είναι αδιαμφισβήτητο είναι πως η δυναμική είσοδος νέων ισχυρών παικτών στο ενεργειακό παιχνίδι, όπως η Κίνα, η Ινδία και οι υπόλοιπες χώρες της Ν.Α. Ασίας, έχει εκτινάξει τη ζήτηση της ενέργειας προς τα πάνω και έχει αλλάξει τα δεδομένα της ενεργειακής βιομηχανίας. Η τεράστια ζήτηση αυτών των χωρών για ενέργεια έχει οδηγήσει την παραγωγή των διυλιστηρίων σε πρωτοφανή ύψη και έχει επιβάλλει μία χωροταξική ανακατανομή των μονάδων παραγωγής και επεξεργασίας ενέργειας, οι οποίες πλέον στοχεύουν στις νέες αναδυόμενες αγορές.

Η Διάσκεψη του Ρίο (1992), η υπογραφή του πρωτοκόλλου του Κιότο (1997) και η Πράσινη (1996) και η Λευκή Βίβλος (1997) για την Ενέργεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεωρούνται γεγονότα – σταθμοί για την προώθηση της βιομάζας ως ενεργειακή πηγή. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας, αναμένεται να ελαχιστοποιήσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις συνεπαγόμενες αρνητικές επιπτώσεις του στον πλανήτη (European Environment Agency, 2004).

Ενώ τα ορυκτά καύσιμα εξακολουθούν να κυριαρχούν στην παγκόσμια προσφορά ενέργειας με συνδυαστικό μερίδιο 81%, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να κυριαρχήσουν για τις επόμενες γενιές. Η Βιοενέργεια είναι ήδη διπλάσια από την πυρηνική ενέργεια στον κόσμο. Εντός του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η βιοενέργεια αποτελεί την κυρίαρχη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας και ακολουθούν η υδροηλεκτρική ενέργεια και σε μικρότερο βαθμό η αιολική ενέργεια, γεωθερμική ενέργεια και η ηλιακή ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γενικότερα, και ειδικότερα η βιοενέργεια, έχουν επίσης πολλαπλές δυνατότητες χρήσης. Σύμφωνα με τη θέση του Παγκόσμιου Συνδέσμου Βιοενέργειας η δυνατότητα αξιοποίησης της βιοενέργειας σε όλο τον κόσμο το 2050 εκτιμάται σε 20-30 φορές σε σχέση με την τρέχουσα χρήση.

Ο ενεργειακός εφοδιασμός εξακολουθεί να εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα, και συγκεκριμένα από το πετρέλαιο 33%, 27% από τον άνθρακα και την τύρφη, και 21% από το φυσικό αέριο. Άλλη μια μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική ενέργεια, η οποία αντιπροσωπεύει περίπου το 6%. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιστοιχούν στο 13% της παγκόσμιας

προσφοράς ενέργειας και διανέμεται σε 10% βιοενέργεια , 2% υδροηλεκτρική ενέργεια και το 1% αιολική, ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια.

Στο όλο ενεργειακό σκηνικό εμφανίστηκε πρόσφατα ένας σχετικά νέος και πολλά υποσχόμενος εταίρος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ έχουν προχωρήσει αρκετά από πλευράς τεχνολογικής ωριμότητας (βιοαέριο, βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κλπ), και επιπλέον ευνοούνται από το διαμορφούμενο παγκόσμια πολιτικό σκηνικό που επιβάλλει άμεση λήψη δραστηκών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών (θερμοκηπιακά αέρια) που επηρεάζουν δυσμενώς και αποσταθεροποιούν το κλίμα της γης. Οι ΑΠΕ, φαίνεται να δίνουν λύσεις στις περιβαλλοντικές προκλήσεις, παρέχοντας συγχρόνως και διέξοδο στα θέματα της ενεργειακής ασφάλειας μέσα από την μείωση της εξάρτησης από εισαγωγές ενεργειακών πόρων. Πέρα από αυτά, υπόσχονται τόνωση των τοπικών αγορών και περιφερειακή ανάπτυξη. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο το διαμορφούμενο ενεργειακό πολιτικό σκηνικό θέτει μέχρι σήμερα μικρά ποσοστά διείσδυσής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Η ανάπτυξη της παραγωγής βιοκαυσίμων αναμένεται ότι θα προσφέρει νέες ευκαιρίες διαφοροποίησης του εισοδήματος και απασχόλησης σε αγροτικές περιοχές. Ήδη από το 2006 εφαρμόζεται στη χώρα μας η νέα κοινή αγροτική πολιτική (ΚΑΠ) σύμφωνα με την οποία οι επιδοτήσεις αποσυνδέονται από το ύψος της παραγωγής και μεταφέρονται στον ίδιο το γεωργό, με αποτέλεσμα πολλές από τις παραδοσιακές εντατικές καλλιέργειες να καθίστανται αντοικονομικές, χωρίς να υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις. Οι ενεργειακές καλλιέργειες φαίνεται να είναι μια ομάδα καλλιεργειών που μπορούν να δώσουν διέξοδο στα προβλήματα που αναμένεται να αντιμετωπίσει σύντομα ο Έλληνας αγρότης. Λαμβάνοντας υπόψη τα πολλαπλά οφέλη της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας αλλά και τις ιδιαιτερότητες του ελληνικού αγροτικού τομέα, οι καλλιέργειες αυτές αντιπροσωπεύουν μια ελκυστική λύση τόσο για την παραγωγή ενέργειας και υγρών καυσίμων όσο και για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας του αγροτικού χώρου, την ενίσχυση της απασχόλησης και την προστασία του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με μελέτη του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, αυτή τη στιγμή στο Θεσσαλικό κάμπο υπάρχουν 2.000.000 περίπου στρέμματα η αξιοποίηση των οποίων μπορεί να επιφέρει κέρδος το οποίο θα ανέρχεται στα 60.000.000 ευρώ. Στο κέρδος αυτός φυσικά δεν συμπεριλαμβάνονται τα πολλαπλασιαστικά οφέλη όπως η αύξηση των θέσεων εργασίας, η συγκράτηση του πληθυσμού στην περιφέρεια, η αναδιάρθρωση των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου, αύξηση του γεωργικού εισοδήματος, μείωση των ενεργειακών αναγκών από ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες (European Biomass Industry Association, 2004), για παραγωγή ενέργειας από βιομάζα ύψους 133 MTOE ετησίως στην Ευρώπη, το 2020, θα δημιουργηθούν 1.500.000 νέες θέσεις εργασίας.

Το έντονο ενδιαφέρον για βιώσιμη ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα το πρόσφατο και συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την καλλιέργεια ειδών σόργου για ενεργειακούς σκοπούς. Ανάμεσα στα ενεργειακά συστήματα βιομάζας, το γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) κατέχει μία εξέχουσα θέση, λόγω της υψηλής φωτοσυνθετικής του ικανότητας ως C₄ φυτό, υψηλών εν δυνάμει αποδόσεων σε βιομάζα, υψηλού ποσοστού εύκολα ζυμώσιμων σακχάρων και καύσιμων οργανικών, και χαμηλών απαιτήσεων σε νερό και θρεπτικά συστατικά (Derkas et al., 1995). Η Ε.Ε. έχει χρηματοδοτήσει τα τελευταία χρόνια αρκετές ερευνητικές μελέτες πάνω στο γλυκό σόργο (προγράμματα όπως AIR, FAIR, κ.ά.), προκειμένου να μπορέσει να σταθεί ως μία εναλλακτική και οικονομικά βιώσιμη λύση παραγωγής ενέργειας. Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στα πλαίσια συμμετοχής του σε εθνικά και ευρωπαϊκά ερευνητικά έργα, έχει εγκαταστήσει πειραματικούς αγρούς σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Τα τελευταία 15 χρόνια έχουν εκπονηθεί πολυάριθμες μελέτες και προγράμματα έρευνας και τεχνολογίας σε πολλές χώρες, κυρίως ευρωπαϊκές, σχετικά με το ενεργειακό δυναμικό του γλυκού και του ινώδους σόργου, την προσαρμοστικότητα και παραγωγικότητα τους σε διαφορετικές οικολογικές συνθήκες και καλλιεργητικές πρακτικές, καθώς και την αξιοποίηση τους σε διάφορες άλλες βιομηχανικές χρήσεις.

Το γλυκό σόργο χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της μέσω ζύμωσης των σακχάρων που περιέχονται στο χυμό του. Τα φυτικά υπολείμματα που παράγονται μετά την εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού από τα στελέχη αποτελούν πρώτη ύλη για πυρολυτικά έλαια, στερεά καύσιμα και πέλλετς, βιοαέριο και βιο-υδρογόνο καθώς και λιγνοκυτταρινούχα υλικά για διάφορες μη ενεργειακές χρήσεις όπως για παραγωγή χαρτοπολτού και οργανικού λιπάσματος.

Το γλυκό σόργο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα των στελεχών του σε σάκχαρα, ενώ το ινώδες έχει στελέχη με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες. Το γλυκό και ινώδες σόργο είναι φυτά ανθεκτικά στην έλλειψη νερού, έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο και παρουσιάζουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού. Το υψηλό παραγωγικό δυναμικό τους, τόσο σε οριακές οικολογικές συνθήκες όσο και σε χαμηλά επίπεδα εισροών, είναι οι κύριοι λόγοι του συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος των ερευνητών για τη χρήση τους ως ενεργειακές καλλιέργειες.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον και για το ινώδες σόργο, για παραγωγή ενέργειας και χαρτιού. Μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή εφαρμογή είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της παραγόμενης βιομάζας αλλά και γενικότερα η παραγωγή ξηρών καυσίμων και πέλλετς. Υπάρχει επίσης αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοαιθανόλης από το φυτό, μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων συστατικών του σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης των σακχάρων.

Προς το παρόν τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο δεν καλλιεργούνται ακόμη σε εμπορική κλίμακα στην Ευρώπη ενώ συνεχίζεται η πειραματική έρευνα για τα φυτά, ώστε να εισαχθούν στην αγροτική παραγωγή των ευρωπαϊκών χωρών.

1.ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

1.1 Βιομάζα

Με τον όρο « βιομάζα » εννοούμε όλες οι μορφές οργανικής ουσίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας (Biomass guide, ΚΑΠΕ, 2005). Οι ενεργειακές καλλιέργειες, συγκεκριμένα, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο ορισμένα ήδη καλλιεργούμενα είδη όσο και μια σειρά αυτοφυή, έχουν ως σκοπό την παραγωγή βιομάζας, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως την παραγωγή σπορέλαιων για την παραγωγή «βιολογικού» πετρελαίου (biodiesel), ζυμώσιμα σάκχαρα υδατάνθρακες για την παραγωγή βιοαιθανόλης, ή ξηρά ουσία για καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση κ.τ.λ. (Monti *et al.* 2003).

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη, δηλαδή μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται. Πρόκειται για έναν αέναο μετατροπέα της ηλιακής ενέργειας η οποία αποθηκεύεται σε χημική μορφή στα οργανικά προϊόντα της φωτοσύνθεσης. Από πειράματα που έχουν γίνει σε πολλές ετήσιες καλλιέργειες έχει διαπιστωθεί ότι η παραγόμενη βιομάζα εξαρτάται από την αθροισμένη σε ημερήσια βάση προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά τη διάρκεια που αναπτύσσεται η καλλιέργεια. *Προσπίπτουσα ακτινοβολία* είναι η εισερχόμενη ακτινοβολία στη φυτική κόμη μείων εκείνη που την διαπερνά με οποιοδήποτε τρόπο και φθάνει μέχρι το έδαφος (Monteith, 1977). Η απόδοση μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας – ενέργειας σε χημική μέσω της φωτοσύνθεσης των φυτών είναι αρκετά χαμηλή και δεν ξεπερνά το 1-2%. Σύμφωνα με υπολογισμούς που έχουν γίνει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε καθαρή πρωτογενή βιομάζα στα χερσαία οικοσυστήματα του πλανήτη είναι κατά μέσο όρο 1% (Βερεσόγλου, 1996).

Η βιομάζα είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών χερσαίας η υδρόβιας προέλευσης. Τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών. Οι βασικές πρώτες ύλες γι' αυτό είναι το νερό και το CO₂ που αφθονούν στην φύση. Οι

θεμελιώδεις αντιδράσεις πραγματοποιούνται στους χλωροπλάστες, οι οποίοι συλλαμβάνουν τα φωτόνια και στη συνέχεια ενεργοποιούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης που ανάγει το CO₂ σε υδατάνθρακες. Κατά την πορεία της φωτοσύνθεσης σχηματίζονται οργανικές ενώσεις, δηλαδή βιομάζα. Εδώ φαίνεται και ο σπουδαίος ρόλος της γεωργίας ως παραγωγού ενέργειας, αφού απορροφά το CO₂ και το μετατρέπει σε βιομάζα.

Οι περισσότερες μορφές βιομάζας συνίστανται από νερό και κυτταρίνες, ημικυτταρίνες και λιγνίνες σε διάφορες αναλογίες, και στις οποίες εμπεριέχεται η αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Η τυπική χημική σύνθεση της βιομάζας είναι 50% άνθρακας, 43% οξυγόνο και 6% υδρογόνο και ο χημικός της τύπος είναι C_{6n}(H₂O)_{5n}. Η θερμική αξία της βιομάζας είναι 15-20 MJ/Kg.

Έχει υπολογιστεί ότι παράγονται 220 δισεκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας παγκοσμίως κάθε χρόνο, ποσότητα που έχει ενεργειακό ισοδύναμο που αντιστοιχεί στο δεκαπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.). Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.).

Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί, δηλαδή, η εκμετάλλευσή του να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα.

Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής.

Η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων. Ουσιαστικά όμως πρόκειται για δυο τύπους βιομάζας. Αυτοί είναι οι υπολειμματικές μορφές και η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες. Οι υπολειμματικές μορφές βιομάζας διακρίνονται σε (ΚΑΠΕ, 2004):

- Υπολείμματα που παραμένουν στον αγρό μετά τη συγκομιδή του κύριου προϊόντος. Τέτοιου είδους υπολείμματα είναι το άχυρο των σιτηρών, τα βαμβακοστελέχη, τα κλαδοδέματα κ.α.
- Υπολείμματα γεωργικών και δασικών βιομηχανιών όπως ελαιοπυρήνες, υπολείμματα εκκοκκισμού, πριονίδια κ.α.
- Απορρίμματα, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (οργανικά).

1.2 Μετατροπές της βιομάζας

Η παλαιότερη χρήση της βιομάζας είναι η καύση παρουσία αέρα στους 1000 – 1500 βαθμούς Κελσίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή θερμότητας, σαν διεργασία όμως έχει χαμηλό βαθμό απόδοσης, κάτω από 40%. Ορισμένοι μόνο τύποι βιομάζας, όπως το ξύλο, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας με καύση για παραγωγή ενέργειας. Απαιτείται συνήθως επεξεργασία της βιομάζας πριν μετατραπεί σε καύσιμο. Υπάρχουν τριών ειδών διεργασίες της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας:

1. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Ανθρακοποίηση (π.χ παραγωγή κάρβουνου)
- Πυρόλυση (π.χ παραγωγή υδρολυτικών ελαίων)
- Αεριοποίηση (π.χ παραγωγή αερίου)

2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Αναερόβια ζύμωση (π.χ παραγωγή βιοαερίου)
- Υδρόλυση – Αναερόβια ζύμωση (π.χ παραγωγή αιθανόλης)

3. ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Εκχύλιση ελαίων και εστεροποίηση των τριγλυκεριδίων (π.χ παραγωγή βιοκαυσίμου).

Η επιλογή κάθε φορά της κατάλληλης μεθόδου προσδιορίζεται από την σχέση C/N και την περιεχόμενη στην βιομάζα υγρασία. Η θερμοχημικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για είδη βιομάζας με σχέση C/N > 30 και υγρασία μικρότερη του 50%, όπως στην περίπτωση των κυτταρινούχων ειδών. Αντίθετα για σχέση C/N < 30 και υγρασία της βιομάζας μεγαλύτερη του 50%

καταλληλότερη μέθοδος κρίνεται η βιοχημική ως αποτέλεσμα μικροβιακής δράσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι και η σχετική αναλογία κυτταρίνης / ημικυτταρίνης / λιγνίνης αποτελούν κριτικό παράγοντα καθορισμού της κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας για κάθε τύπο βιομάζας.

Η βιομάζα που χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας πρέπει να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε Cl, διότι πρόκειται για ισχυρά διαβρωτικό παράγοντα, σε K και Ca γιατί τα δύο αυτά στοιχεία δημιουργούν ανεπιθύμητες επιστρώσεις στις σωληνώσεις, και σε N ώστε να μειωθούν οι εκπομπές NO_x και υγρασία γιατί μειώνεται η θερμογόνος δύναμη.

1.3 Ενεργειακή γεωργία και ενεργειακές καλλιέργειες

Θεωρητικά, το 70% της σημερινής καλλιεργήσιμης έκτασης του πλανήτη μπορεί να παραχωρηθεί για παραγωγή βιοενέργειας χωρίς ταυτόχρονα να υπάρξει κίνδυνος μη κάλυψης των διατροφικών αναγκών μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα.

Οι ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου και η μόλυνση του περιβάλλοντος που σε μεγάλο βαθμό οφείλονται στην χρήση ορυκτών καυσίμων, η εξάντληση των αποθεμάτων των πετρελαιοειδών και του φυσικού αερίου και το αδιέξοδο της γεωργικής υπερπαραγωγής στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθιστούν την ενεργειακή γεωργία την μελλοντική ελπιδοφόρο λύση του ενεργειακού προβλήματος. Συνέπεια των παραπάνω είναι οι εξελίξεις στον τομέα της ενεργειακής γεωργίας να είναι ταχύτατες.

Οι παραδοσιακές καλλιέργειες μπορούν να μετατραπούν σε ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή πρώτης ύλης για τα βιοκαύσιμα. Το κύριο πλεονέκτημα της μετατροπής αυτής είναι, ότι η σταθερή παραγωγή τους μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλης κλίμακας, μακροπρόθεσμη προμήθεια πρώτης ύλης με ομοιόμορφα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε μονάδες παραγωγής βιοκαυσίμων και ενέργειας. Ειδικά οι νέες καλλιέργειες, παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις ανά εδαφική μονάδα από τις συμβατικές. Αυτές οι υψηλότερες αποδόσεις βελτιώνουν την οικονομικότητα

τους και ελαχιστοποιούν τις απαιτήσεις σε έδαφος, αγροχημικά, μεταφορικά και άλλες αρνητικές περιβαλλοντικές επιδράσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και τα πολλαπλά οφέλη της αξιοποίησης των νέων καλλιεργειών, έχουμε να κάνουμε από πλευράς αγροτών, με μια ελκυστική λύση τόσο για την παραγωγή ενέργειας και υγρών βιοκαυσίμων, όσο και για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας του αγροτικού χώρου, την ενίσχυση της απασχόλησης και την προστασία του περιβάλλοντος (www.bioenergia.gr).

Ενδεικτικά παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα οι αποδόσεις σε βιοντίζελ ανά στρέμμα ανάλογα με το είδος καλλιέργειας:

Βιοκαύσιμο	Πρώτη ύλη	Απόδοση (κιλά/στρέμμα)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (κιλά/στρέμμα)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (λίτρα/στρέμμα)
Βιοντίζελ	Ηλίανθος	120 – 300	40 - 70	43 - 75
	Ελαιοκράμβη	120 - 300	40 - 83	43 – 90
	Σόγια	160 - 240	27 - 41	29 – 44
	Βαμβάκι	120 - 160	17 - 23	18 – 25

Πηγή: ΚΑΠΕ

Πίνακας 1. Αποδόσεις σε βιοντίζελ ανά στρέμμα

1.4 Περιβαλλοντικά οφέλη από την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών

- **Προστασία έναντι της διάβρωσης του εδάφους.** Το πλούσιο υπέργειο τμήμα και το ριζικό σύστημα των ενεργειακών καλλιεργειών (ειδικά των πολυετών), ελαχιστοποιεί τις δυσμενείς επιπτώσεις της διάβρωσης του εδάφους και βελτιώνει τη δομή του.

- **Διαχείριση νερού.** Στο πλαίσιο της ενεργειακής γεωργίας δίνεται η ευκαιρία να επιλέγουν είδη που αξιοποιούν το νερό αποδοτικά, ή και σε πολλές περιπτώσεις είδη που αξιοποιούν τις χειμερινές βροχοπτώσεις για την ανάπτυξη τους και δεν απαιτούν επιπλέον άρδευση, παρουσιάζοντας ικανοποιητική ανάπτυξη και παραγωγικότητα σε βιομάζα. Η αγριαγκινάρα μπορεί να καλλιεργηθεί ξηρικά και να αντικαταστήσει τα χειμερινά σιτηρά όπως το σπάρι και το κριθάρι. Άλλα φυτά, όπως ο ευκάλυπτος και το καλάμι, μπορούν να αναπτυχθούν ικανοποιητικά χωρίς άρδευση, αν και όταν αρδεύονται η παραγωγή τους σε βιομάζα είναι υψηλότερη. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι όλες οι ενεργειακές καλλιέργειες έχουν μέτρια έως υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης νερού.

- **Χαμηλές εισροές σε λιπάσματα.** Οι ενεργειακές καλλιέργειες απαιτούν χαμηλότερα επίπεδα λίπανσης σε σχέση με τα ετήσια φυτά που προορίζονται για τροφή και μπορούν να συντελέσουν στην προστασία του περιβάλλοντος με μείωση της χρήσης λιπασμάτων.

- **Μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων.** Οι ενεργειακές καλλιέργειες παρουσιάζουν υψηλή φυτοκάλυψη και με την εγκατάστασή τους στον αγρό περιορίζουν την ανάπτυξη ζιζανίων. Επιπροσθέτως, δεν προσβάλλονται από σοβαρές ασθένειες και έντομα και ως εκ τούτου, η χρήση μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων είναι πολύ μικρή.

- **Εκμετάλλευση εδαφών χαμηλής γονιμότητας.** Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις σε εγκαταλελειμμένες περιοχές χαμηλής γονιμότητας, καθώς προσαρμόζονται εύκολα και αποδίδουν ικανοποιητικά σε μεγάλο εύρος εδαφών.

- **Ουδετερότητα όσο αφορά στις εκπομπές CO₂.** Η παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων είναι ουδέτερη όσο αφορά στις εκπομπές CO₂. Εξασφαλίζεται οικολογική ισορροπία, αφού όσο CO₂ παράγεται κατά την καύση της βιομάζας, απορροφάται κατά την παραγωγή της, αποτελώντας έτσι εναλλακτική λύση αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων. Το κόστος και οι δυνατότητες μείωσης των εκπομπών του CO₂ κατά αυτόν τον τρόπο, εξαρτάται από την απόδοση της ενεργειακής μετατροπής κατά την παραγωγή και την καύση της βιομάζας και από τον τύπο του καυσίμου που υποκαθιστά.

- **Θετική συνεισφορά σχετικά με το φαινόμενο θερμοκηπίου.** Είναι αποτέλεσμα της ουδετερότητας των εκπομπών CO₂.

- **Είναι πιο καθαρά από τον άνθρακα.** Έχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές θείου. Το ενεργειακό τους περιεχόμενο είναι πιο ομοιόμορφο και η μεγάλη δραστηριότητα τους κάνει ευκολότερη τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των συστημάτων καύσης, οπότε δεν υπάρχει ανάγκη ειδικού εξοπλισμού απομάκρυνσης του διοξειδίου του θείου (Σμυρής).

1.5 Βιοκαύσιμα

Τα βασικά είδη των καυσίμων που μπορούν να παραχθούν από τα φυτά είναι τα εξής:

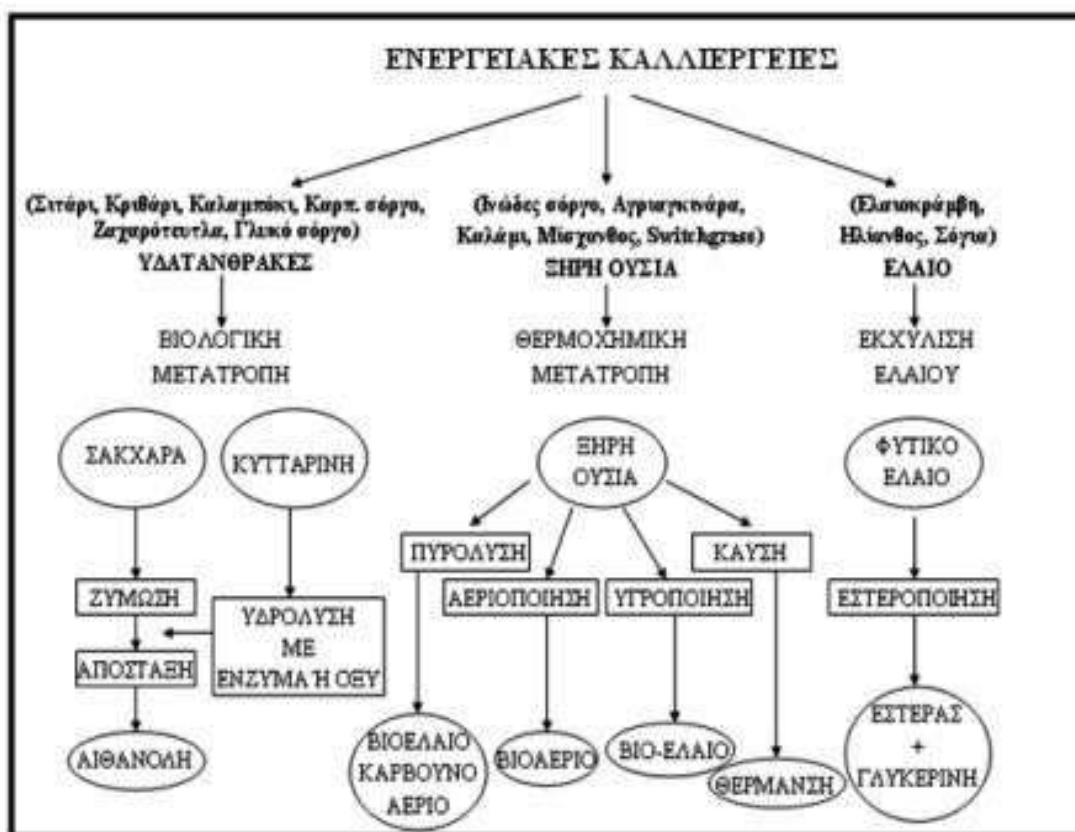
1.5.1 Βιοαιθανόλη

Πρόκειται για αλκοόλη που παράγεται από τη ζύμωση σακχαρούχων, αμυλούχων ή κυτταρινούχων πρώτων υλών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αντί της βενζίνης, σαν προσθετικό καυσίμου ή ακόμη ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ETBE (αιθυλο-τριτοταγής βουτυλ-αιθέρας), το οποίο αποτελεί βελτιωτικό της βενζίνης για την αύξηση του αριθμού των οκτανίων. Στην Ελλάδα, η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από σιτηρά, αραβόσιτο, ζαχαρότευτλα και γλυκό σόργο.

Στην Ελλάδα η νομοθεσία για το ποσοστό υποκατάστασης της βιοαιθανόλης στην βενζίνη, δείχνει ότι η εγκατάσταση μιας νέας μονάδας - στην συγκεκριμένη περίπτωση με πρώτη ύλη το γλυκό σόργο – θα μπορούσε να αποβεί προσοδοφόρα αν όχι επιτακτική. Το 2010 προβλέπεται ότι η κατανάλωση βενζίνης στην Ελλάδα θα είναι 4.200.000 tn [16] το οποίο σημαίνει ότι θα χρειάζονται 390.000tn βιοαιθανόλης. Αν αυτή η ποσότητα παράγεται από την ίδια τη χώρα, τότε θα υπάρξει εξοικονόμηση συναλλάγματος έως €170.000.000.

1.5.2 Βιοντίζελ

Ο όρος βιοντίζελ αναφέρεται σε μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων που προέρχονται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, σόγια, ελαιοκράμβη) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του ντίζελ σε πετρελαιοκινητήρες. Το βιοντίζελ δεν είναι τοξικό, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις, είναι εύκολα βιοδιασπώμενο και σε σύγκριση με το ντίζελ, έχει χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων, μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων.



Διάγραμμα 1. Κύριες ενεργειακές καλλιέργειες, διεργασίες μετατροπής και βιοκαύσιμα

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης βιοντίζελ είναι τα παρακάτω:

- είναι εύκολα βιοαπικοδομήσιμο
- δεν είναι τοξικό
- δεν περιέχει αρωματικές ουσίες
- δεν ερεθίζει το δέρμα και τους πνεύμονες
- χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές
- μπορεί να πάρει τη θέση του ορυκτού πετρελαίου σε όλες τις χρήσεις
- δεν απαιτείται τροποποίηση μηχανών
- δεν μολύνει την ατμόσφαιρα και το έδαφος
- δεν περιέχει καρκινογόνους ρύπους
- όταν καίγεται δεν παράγεται διοξείδιο του θείου γιατί δεν περιέχει θειάφι
- το CO₂ που παράγεται με την καύση του είναι πολύ λίγο και έτσι

συνεισφέρει στην καλύτερη αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το κόστος παραγωγής του βιοντίζελ σε ευρώ ανά λίτρο ισοδύναμου ντίζελ με στοιχεία του 2006 είχε ως εξής (www.agrotypos.gr):

- Από υπολείμματα λαδιών (ΗΠΑ,ΕΕ) 0,21 - 0,38€
- Από σόγια (ΗΠΑ) 0,33 - 0,62€
- Από ελαιοκράμβη (ΕΕ) 0,33 - 0,66€.

Το κόστος αυτό για το 2010 αναμένεται να διαμορφωθεί:

- Από υπολείμματα λαδιών (ΗΠΑ,ΕΕ) 0,18 - 0,35€
- Από σόγια (ΗΠΑ) 0,29 - 0,54€
- Από ελαιοκράμβη (ΕΕ) 0,29 - 0,58€

Τα στοιχεία αυτά δείχνουν, ότι ενώ μέχρι σήμερα το βιοντίζελ είναι πιο ακριβό από τα συμβατικά καύσιμα, δεδομένου ότι η τελική τιμή που θα πληρώσει ο καταναλωτής επιβαρύνεται με τα έξοδα διακίνησης και εμπορίας και με τους εκάστοτε φόρους, στο μέλλον αναμένεται μείωση της τιμής του. Το γεγονός αυτό, θα είναι αποτέλεσμα της εξέλιξης των μεθόδων και των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία της πρώτης ύλης, της αύξησης της παραγωγής και κατ' επέκταση της μείωσης του κόστους παραγωγής και επεξεργασίας.

1.5.3 Γεωργική βιομάζα

Η γεωργική βιομάζα, που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας, διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λπ.).

1.5.4 Δασική βιομάζα

Η βιομάζα δασικής προέλευσης, που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς, συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομίας), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές, καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.

1.6 Προοπτικές χρήσης βιομάζας και βιοκαυσίμων

Σύμφωνα με πλήθος μελετών, η βιομάζα θα καλύπτει στο μέλλον το 10-50% των παγκόσμιων αναγκών πρωτογενούς ενέργειας. Το ποσοστό αυτό είναι άμεσα συνδεδεμένο με παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα πόρων, το κόστος της βιομάζας ως πρώτη ύλη, η τεχνολογική ανάπτυξη και το κόστος των μεθόδων μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια. Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης και κοινωνικοί παράγοντες.

Το πρόγραμμα TERES II της ΕΕ προβλέπει ότι ενέργεια 228 μεγατόνων ισοδύναμου πετρελαίου (MTIP) θα εξασφαλίζεται το έτος 2020 από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από το οποίο το 31,1% θα προέρχεται από ενεργειακή γεωργία, το 24,5% από βιομάζα απορριμμάτων και το 15,2% από γεωργικά και δασικά υπολείμματα. Για την επίτευξη του στόχου από εγχώρια παραγωγή, θα χρειαστεί καλλιέργεια του 4% έως 13% των συνολικών γαιών της ΕΕ των 25, ανάλογα με την επιλογή των καλλιεργειών και την τεχνολογική ανάπτυξη που θα παρατηρηθεί.

Σύμφωνα με τη Λευκή Βίβλο, το 8% της ηλεκτρικής ενέργειας θα προέρχεται από βιομάζα το 2010. Σημαντικά θα είναι και τα κοινωνικό-οικονομικά οφέλη αφού η όλη διαδικασία παραγωγής βιοενέργειας θα δημιουργήσει στις χώρες της ΕΕ περίπου 200.000 νέες θέσεις εργασίας το 2010 που αναμένεται να φτάσουν τα 2 εκατομμύρια το 2020.

Μακροπρόθεσμα η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένει κάλυψη από βιομάζα του 20% των σημερινών αναγκών πρωτογενούς ενέργειας της ΕΕ, με περισσότερα από 200 εκατομμύρια στρέμματα να χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια ενεργειακών φυτών.

Κεντρικός μοχλός της ευρωπαϊκής πολιτικής στήριξης και προώθησης της βιοενέργειας είναι οι Οδηγίες 2003/30/ΕΚ για τα βιοκαύσιμα και 2003/96/ΕΚ για τη φορολόγηση της ενέργειας. Σύμφωνα με την Οδηγία 2003/30/ΕΚ, προβλέπεται αντικατάσταση του 2% των καυσίμων στις μεταφορές με βιοκαύσιμα το 2006, ενώ το ποσοστό για το 2010 ανέρχεται σε 5,75%. Η δεύτερη οδηγία προβλέπει φορολογικές μειώσεις – απαλλαγές υπέρ των βιοκαυσίμων, υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Ακόμη η αποσύνδεση των οικονομικών ενισχύσεων από την παραγωγή με την ενδιάμεση αναθεώρηση της ΚΑΠ το 2003 θα συμβάλει στην ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών στις χώρες της ΕΕ. Ορισμένα άλλα μέτρα για την προώθηση της ενεργειακής γεωργίας είναι η πρόβλεψη οικονομικής ενίσχυσης των ενεργειακών καλλιεργειών με 45€ / εκτάριο για 1,5 εκατομμύρια εκτάρια καθώς και η δυνατότητα χρήσης των εκτάσεων υποχρεωτικής αγρανάπαυσης για καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Επιπλέον το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων και η φορολόγηση των εκπομπών αυτών αναμένεται να προάγει τη χρήση βιοενέργειας (ΚΑΠΕ, 2006).

Οι ΗΠΑ αν και έχουν μόνο το 5% του πληθυσμού του πλανήτη καταναλώνουν το 25% της παγκόσμιας ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 6% της ενέργειας που καταναλώνεται με τη βιομάζα να αποτελεί το 47% αυτών (USDA, 2005). Για το 2030 προβλέπεται αύξηση από 6% σε 28% της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, το μισό δε αυτής θα προέρχεται από την ενεργειακή γεωργία. Ένας ακόμη στόχος είναι η αντικατάσταση του 10% των καυσίμων στις μεταφορές με βιοκαύσιμα μέχρι το 2020.

Συμπερασματικά, οι προηγμένες χώρες, υποχρεωμένες εκ των πραγμάτων (διασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού, υπερπαραγωγή γεωργικών προϊόντων, περιβαλλοντική ρύπανση), αναμένεται να αφιερώσουν πολύ μεγάλο μέρος του γεωργικού τους δυναμικού στην παραγωγή ενέργειας,

ενώ μεγάλο ποσοστό των αναγκών προβλέπεται ότι θα καλύπτεται από τη χρήση βιομάζας για παραγωγή βιοενέργειας.

B. ΤΟ ΣΟΡΓΟ ΩΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΦΥΤΟ

Το σόργο είναι το τέταρτο σημαντικότερο σιτηρό μετά το σιτάρι, το ρύζι και το καλαμπόκι και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην ανθρώπινη διατροφή και ως ζωοτροφή (Καραμάνος 1999).

Το σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench) διακρίνεται σε τέσσερις τύπους ανάλογα με τη χρήση του, τα χαρακτηριστικά του φυτού και των σπόρων:

- 1) Καρποδοτικό σόργο που καλλιεργείται για παραγωγή καρπού
- 2) Σόργο του Σουδάν που καλλιεργείται ως σανοδοτικό
- 3) Σακχαρούχο ή γλυκό σόργο
- 4) Σόργο σαρωθοποιίας που χρησιμοποιείται στην κατασκευή σαρώθρων

Λόγω της ανθεκτικότητας στην ξηρασία και των υψηλών αποδόσεων σε βιομάζα, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό είδος διατροφής σε πολλές περιοχές της Αφρικής και της Ασίας, για πολλές μάλιστα αγροτικές οικογένειες είναι ένα είδος πρώτης ανάγκης στην καθημερινή τους διαίτα. Φαίνεται λοιπόν ότι το σόργο ως καλλιέργεια έχει έναν πάρα πολύ μεγάλο ρόλο στην παγκόσμια διατροφική οικονομία, όντας σήμερα το 5^ο σημαντικότερο δημητριακό στον κόσμο (μετά το σιτάρι, το ρύζι, το καλαμπόκι και το κριθάρι), με περισσότερο από 35 % να παράγεται για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο (Kangama *et al.*, 2005).

Το ενδιαφέρον για βιώσιμη ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα το πρόσφατο και συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την καλλιέργεια ειδών σόργου για ενεργειακούς σκοπούς. Τα τελευταία 15 χρόνια έχουν εκπονηθεί πολυάριθμες μελέτες και ερευνητικά προγράμματα σε πολλές χώρες, κυρίως ευρωπαϊκές, σχετικά με το ενεργειακό δυναμικό του γλυκού και του ινώδους σόργου, την προσαρμοστικότητα και την παραγωγικότητα τους σε διαφορετικές οικολογικές συνθήκες και καλλιεργητικές πρακτικές καθώς και την αξιοποίησή τους σε διάφορες άλλες βιομηχανικές χρήσεις.

Το γλυκό και το ινώδες σόργο είναι φυτά ανθεκτικά στην έλλειψη νερού, έχουν χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο και παρουσιάζουν πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού. Το υψηλό παραγωγικό δυναμικό των δύο αυτών γενοτύπων σόργου τόσο σε οριακές οικολογικές συνθήκες όσο και με χαμηλά επίπεδα εισροών είναι οι κύριοι λόγοι του συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος των ερευνητών για την καλλιέργεια. Επιπλέον αποτελούν πρώτη ύλη για ευρύ φάσμα προϊόντων ενεργειακών, βιομηχανικών, διατροφικών και ζωοτροφής. Συγχρόνως η καλλιέργεια έχει υψηλό δυναμικό απορρόφησης CO₂ από την ατμόσφαιρα. Ένα στρέμμα σόργου δεσμεύει περίπου 3,5 έως 4,5 τόνους CO₂ ανά καλλιεργητικό κύκλο.

Το γλυκό σόργο χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της μέσω ζύμωσης των σακχάρων που προέρχονται στο φυτικό χυμό του. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή κρυσταλλικής ζάχαρης. Τα υπολείμματα που παράγονται μετά την εξαγωγή του χυμού από τα στελέχη αποτελούν πρώτη ύλη για τη χαρτοβιομηχανία και για παραγωγή ενέργειας με καύση, πυρόλυση ή αεριοποίηση δίνοντας στερεά καύσιμα (πέλλετς), πυρολυτικά έλαια, βιοαέριο και μεθανόλη, ή για παραγωγή αιθανόλης μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων υπολειμμάτων σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης. Ακόμη, το γλυκό σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή βιο-υδρογόνου. Η μεγάλη ποσότητα και η υψηλή θερμογόνο δύναμη των υπολειμμάτων μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες τόσο της φυτικής παραγωγής όσο και της μετατροπής του γλυκού σόργου σε αλκοόλη (ΚΑΠΕ, 2004).

Αν και στο παρελθόν η έρευνα εστιάστηκε κυρίως στο γλυκό σόργο, εν τούτοις τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον στράφηκε και προς το ινώδες σόργο, για παραγωγή ενέργειας και χαρτιού. Η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας με καύση ή αεριοποίηση, παραγωγή στερεών καυσίμων (κυρίως πέλλετς) για θέρμανση καθώς και για παραγωγή βιο-υδρογόνου. Μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή εφαρμογή είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της βιομάζας του. Αυξημένο ενδιαφέρον υπάρχει και για παραγωγή βιοαιθανόλης από το φυτό, μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων συστατικών του σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης. Τέλος

το ινώδες σόργο μπορεί να αποτελέσει μια καλή λύση για την αντικατάσταση των δασικών πρώτων υλών στην χαρτοβιομηχανία καθώς και για παραγωγή οικοδομικών υλικών, ενώ μια άλλη βιομηχανική χρήση του είναι η παραγωγή ξυλόζης που αποτελεί πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας αλλά και ξυλιτόλης που είναι υποκατάστατο της ζάχαρης.

Προς το παρόν τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο δεν καλλιεργούνται ακόμη σε εμπορική κλίμακα στην Ευρώπη παρά μόνο σε πειραματικές καλλιέργειες, ενώ και η βιομηχανική μεταποίηση του βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες.

1. Βιολογία

1.1 Βοτανική ταξινόμηση

Το επιστημονικό όνομα του σόργου είναι *Sorghum Bicolor* και ανήκει στην οικογένεια των Αγροστωδών. Πριν την περιγραφή του σόργου από τον Linnaeus, αυτό αναφερόταν με διάφορες λατινικές ονομασίες όπως *Milium indicum* ή *Melica sive Sorghum*. Ο Πλίνιος έδωσε την πρώτη γραπτή περιγραφή του σόργου τον πρώτο αιώνα, ενώ δεν υπάρχει κάποια αξιόπιστη καταγεγραμμένη αναφορά μέχρι τον δέκατο τέταρτο αιώνα, εκτός από κάποια αναφορά του Κινέζου Wangzhen το 1313. Το 1753 ο Linnaeus κατέταξε το σόργο στο γένος *Holcus* ενώ αργότερα ο Moench διαφοροποίησε το γένος *Sorghum* από το γένος *Holcus*.

Το σόργο ανήκει στη φυλή *Andropogoneae* και στην υποφυλή *Sorghastrae*. Ο Garber (1950) θεώρησε ότι το γένος *Sorghum* είναι ένα από τα δύο που περιλαμβάνει η υποφυλή *Sorghastrae*. Επιπλέον πρότεινε την ύπαρξη έξι υπογενών στο *Sorghum* τα οποία συνέδεσε με τη γεωγραφική προέλευση και εξέλιξη του γένους. Η επικρατέστερη σήμερα άποψη υποδιαιρεί το γένος σε τρία διαφορετικά είδη: *S.bicolor*, *S. Halepense* και *S. Propinquum* (Καραμάνος, 1999).

Το *S. bicolor* περιλαμβάνει ετήσια φυτά, καλλιεργούμενα και μη, και χαρακτηρίζεται επίσης από μεγάλη ποικιλομορφία. Υποδιαιρείται στα υποείδη:

bicolor, drummondii και verticilliflorum, από τα οποία μόνο το πρώτο περιλαμβάνει καλλιεργούμενα taxa. Το σόργο είναι ένα ετήσιο εαρινό αγροστώδες φυτό και έχει απλοειδή αριθμό χρωμοσωμάτων 10. Αντίθετα ο βέλιουρας (S. Halapence) είναι πολυετές φυτό και έχει απλοειδή αριθμό χρωμοσωμάτων 20. Στον τύπο (S. Bicolor) ανήκουν εκτός από τα καρποδοτικά και τα σόργα που προορίζονται για παραγωγή σκούπας και εξαγωγή σιροππιού.

Στο S. bicolor spp. drummondii ανήκουν τα καλλιεργούμενα χορτοδοτικά σόργα ή σόργα του Σουδάν (S. Sudanense). Περιλαμβάνει ετήσια φυτά, τα περισσότερα από τα οποία είναι ζιζάνια. Ζιζάνια περιλαμβάνει επίσης και το τρίτο υποείδος, το S. bicolor spp. verticilliflorum. Από διασταυρώσεις μεταξύ S. halapense και S. bicolor προέκυψε το χορτοδοτικό σόργο S. Alnum.

Το σόργο είναι φυτό τύπου C4 με φωτοσυνθετικό μεταβολισμό, η δε καταγωγή του εντοπίζεται στην Αφρική (Αιθιοπία), από όπου προέρχονται και πολλές από τις σημερινές καλλιεργούμενες ποικιλίες. Καλλιέργεια του σόργου αναφέρεται επίσης και στην Ινδία, την Ασσυρία (700 π.Χ.), ενώ η καλλιέργεια έφτασε στην Κίνα το 13ο αι. και πολύ αργότερα στις Η.Π.Α. (αρχές 17ου αιώνα) (Undersander *et al.*, 1990). Από τότε, το σόργο έχει εξαπλωθεί σε πολλές τροπικές, υποτροπικές και θερμές εύκρατες περιοχές του κόσμου. Το γλυκό σόργο θεωρείται η πιο υποσχόμενη <<νέα ύλη>> για την ενέργεια και τη βιομηχανία (Billa *et al.*, 1997).

1.2 Καταγωγή και εξάπλωση- Είδη και Χρήσεις

1.2.1 Ιστορική εξέλιξη

Το σόργο είναι ένα από τα πρώτα φυτά που καλλιεργήσε ο άνθρωπος. Σύμφωνα με τους Mann *et al.* (1983) και Doggett (1969) ο πρόγονος των καλλιεργούμενων τύπων σόργου είναι το άγριο S. bicolor ssp. arundinaceum το οποίο εξημερώθηκε στην αφρικανική ήπειρο. Η μεγαλύτερη ποικιλομορφία

εντοπίζεται στη Β.Α. Αφρική και ιδιαίτερα στις περιοχές της Αιθιοπίας-Σουδάν, σε ένα μεγάλο εύρος οικολογικών συνθηκών. Η Ν.Δ. Αιθιοπία είναι μία πιθανή περιοχή για την πρώτη εξημέρωση του σόργου, η οποία θα πρέπει να έλαβε χώρα γύρω στο 5000 π.Χ. Από εκεί εξαπλώθηκε στην υπόλοιπη Αφρική και στις Ινδίες μέσω της αραβικής χερσονήσου μέχρι το 2200 π.Χ. όπου άρχισε να καλλιεργείται στην Αίγυπτο. Η εξάπλωση στην Κίνα θα πρέπει να τοποθετείται στην ίδια περίοδο, δεδομένης της γειτονίας με τις Ινδίες και της ανταλλαγής γεωργικών προϊόντων. Στην αμερικανική ήπειρο εισήχθη με το δουλεμπόριο από τη Δ. Αφρική, επειδή οι καρποί του χρησιμοποιούνταν ως τροφή από τους νέγρους (Quinby, J.R et al., 1954).

Στον Ν. Κόσμο η συστηματική καλλιέργεια του άρχισε από το 1853-1857 και εξαπλώθηκε σημαντικά όταν οι τροπικές ποικιλίες μετά από βελτίωση προσαρμόστηκαν στα εύκρατα κλίματα με τις μεγάλες φωτοπεριόδους.

Το καλλιεργούμενο σόργο συγγενεύει με τους άγριους τύπους σόργου. Ένας από αυτούς είναι και ο βέλιουρας (*Sorghum halepense*).

Είναι το τέταρτο σε σειρά σημαντικό σιτηρό και καλλιεργείται κατά 90% στις αναπτυσσόμενες χώρες (Αφρικής και Ασίας) κυρίως για ζωοτροφή.

Οι κυριότερες σοργοπαραγωγικές χώρες είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, Ινδία, Νιγηρία, Αργεντινή, Μεξικό, Σουδάν, Αιθιοπία και η Αυστραλία (FAO, 1972). Στις ΗΠΑ και στη Βραζιλία καλλιεργείται κυρίως για την παραγωγή βιο – αιθανόλης.

Πρόγονος των σημερινών καλλιεργούμενων τύπων σόργου θεωρείται το άγριο είδος *S. Bicolor ssp. Arundinaceum* το οποίο εξημερώθηκε στην αφρικανική ήπειρο και ιδιαίτερα στην περιοχή του Σουδάν και της Αιθιοπίας.

Από την Αφρική μέσω του ποταμού Νείλου και της Ερυθράς Θάλασσας εξαπλώθηκε στη Μέση Ανατολή, την Ινδία και την Κίνα πριν 5000 χρόνια περίπου όπως αυτό έγινε γνωστό από ανασκαφές στις περιοχές αυτές. Αντίθετα η εξάπλωση του σόργου προς δυσμάς καθυστέρησε αρκετά μέχρι τον δέκατο ένατο αιώνα. Η συστηματική καλλιέργεια του εξαπλώθηκε σημαντικά όταν οι τροπικές ποικιλίες μετά από βελτίωση προσαρμόστηκαν στα εύκρατα κλίματα με τις μεγάλες φωτοπεριόδους (Καραμάνος, 1999) .

1.2.2 Είδη και χρήσεις σόργου

Όλα τα καλλιεργούμενα φυτά σόργου ανήκουν στο υποείδος *Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *bicolor* (Dahlberg J. 1995), και μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη χρήση τους σε τέσσερις μεγάλες ομάδες (Νικολάου κ.ά., 2000):

1. Το **σποροπαραγωγικό ή καρποδοτικό σόργο (grain sorghum)**, το οποίο καλλιεργείται για παραγωγή σπύρου, και είναι ένα εντατικά καλλιεργούμενο είδος σε πολλές χώρες της Αφρικής, ορισμένες περιοχές της Ινδίας και τις Η.Π.Α.
2. Το **σόργο σαρωθροποιΐας (broomcorn)**, το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή σκούπας από τις μακριές διακλαδώσεις της ταξιανθίας του. Το ινώδες σόργο (fibre sorghum) είναι υβρίδιο μεταξύ του σποροπαραγωγικού και του σόργου σαρωθροποιΐας, με υψηλό ποσοστό κυτταρίνης και χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα (Gosse *et al.*, 1996).
3. Το **σόργο του Σουδάν (Sudangrass)**, το οποίο καλλιεργείται για ζωοτροφή, και
4. Το **γλυκό ή σακχαρούχο σόργο (sweet sorghum)**, το οποίο καλλιεργείται για τα γλυκά στελέχη του, κυρίως για την παραγωγή σιροπιού, αλλά και για ζωοτροφή.

Είναι προφανές ότι το σόργο είναι μία ‘πολυ-λειτουργική’ καλλιέργεια. Ιστορικά, η κύρια χρήση του γλυκού σόργου σε ορισμένες τροπικές και υποτροπικές περιοχές ήταν η παραγωγή σιροπιού. Οι προσπάθειες ανάπτυξης μίας βιομηχανίας ζάχαρης από το γλυκό σόργο δεν έχουν βρει εύφορο έδαφος, καθώς οι διάφορες δυσκολίες και περιορισμοί καθιστούν την

παραγόμενη ζάχαρη πιο ακριβή από αυτή που λαμβάνεται από το ζαχαροκάλαμο και τα σακχαρότευτλα (Dalianis, 1996).

Ως ενεργειακό φυτό, μπορεί να έχει δύο προορισμούς (Gosse, 1996): την παραγωγή βιοαιθανόλης από τους ζυμώσιμους υδατάνθρακες (η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει σε κινητήρες οχημάτων, ή ως καύσιμο κίνησης σε πρόσμιξη με βενζίνη), και την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας από τα υπολείμματα εκχύλισης των σακχάρων (bagasse). Τα υπολείμματα εκχύλισης μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πολτού για χαρτί, νοβοπάν, βιοαερίου, κομπόστας (βελτιωτικό εδάφους).

2. Βελτίωση

Το σόργο έχει μελετηθεί επισταμένως από γενετιστές και βελτιωτές φυτών. Ο χρωματισμός του καρπού , η περιεκτικότητα σου στελέχους σε σακχαρώδεις ουσίες, η αντοχή στις ασθένειες και άλλα γνωρίσματα προσέχτηκαν ιδιαίτερα από τους βελτιωτές. Ιδιαίτερα στις χώρες του Τρίτου Κόσμου γίνεται σοβαρή προσπάθεια να βελτιωθεί η θρεπτική αξία του καρποδοτικού σόργου στη χρήση του για τον άνθρωπο. Όλες οι νέες τεχνικές της βελτιώσεως (πολυπλοειδία, μεταλλαγές, διασταυρώσεις μεταξύ των ειδών) χρησιμοποιήθηκαν στη βελτίωση του. Η κατάληξη είναι τα νέα παραγωγικά υβρίδια σόργου, που διαδίδονται όλο και περισσότερο, τόσο στους καρποδοτικούς όσο και στους σανοδοτικούς τύπους. Πρέπει με την ευκαιρία να τονισθεί ότι οι σανοδοτικοί τύποι σόργου είναι τελείως διαφορετικοί από τους καρποδοτικούς , πράγμα που δεν συμβαίνει στον αραβόσιτο. Η στρεμματική απόδοση του καρποδοτικού σόργου στις Η.Π.Α. τριπλασιάστηκε μεταξύ 1940 και 1970.

Ο κύριος στόχος των προγραμμάτων βελτίωσης του σόργου είναι η αύξηση των αποδόσεων σε βιομάζα. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά και τα κριτήρια επιλογής σε προγράμματα βελτίωσης για τη δημιουργία νέων

ποικιλιών ενεργειακών σόργων είναι: α) υψηλό δυναμικό παραγωγής βιομάζας, β) υψηλή περιεκτικότητα σακχάρων και υψηλό ποσοστό σακχαρόζης, γ) περιορισμένο ύψος, δ) μεγάλη διάμετρος βλαστού, ε) αντοχή σε εχθρούς, ασθένειες και στο πλάγιασμα, στ) υψηλή και πρώιμη ζωτικότητα, ζ) υψηλό ποσοστό μονοστέλεχων φυτών (μειωμένη τάση αδελφώματος), η) αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες ιδίως κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης και θ) αντοχή στην έλλειψη και την περίσσεια νερού.

Το σόργο είναι φυτό συχνά διασταυρούμενο, με έντονα ετερωτικά φαινόμενα. Η δυσκολία στην παραγωγή των υβριδίων, λόγω ερμαφρόδιτων ανθέων, ανάγκασε τους παλαιότερους βελτιωτές να εφαρμόζουν τις μεθόδους βελτιώσεως των αυτογονιμοποιούμενων φυτών για τη δημιουργία νέων ποικιλιών σόργου. Η δυσκολία αυτή παρακάμφθηκε τελευταία με την απόκτηση (γονιδιακής και κυττοπλασματικής) αρρενοστεριότητας. Διασταύρωση μπορεί να γίνει και με άλλα είδη του γένους *Sorghum*. Έτσι βρέθηκε στην Αργεντινή υβρίδιο πολυετές από φυσική διασταύρωση μεταξύ σόργου και βέλιουρα που ονομάστηκε *Sorghum almum* και το οποίο καλλιεργείται ως χορτοδοτικό στις Η.Π.Α. και άλλες χώρες. Επειδή είναι πολυετές και επίσης τινάζει τον σπόρο του, υπάρχει φόβος να καταστεί ζιζάνιο στις χώρες αυτές.

Σήμερα παράγονται υβρίδια εντός που υπερέχουν στην απόδοση κατά 25-40% συγκριτικά με τις συνηθισμένες ποικιλίες σόργου. Σημειώνουμε εδώ πως στο σόργο δεν παρουσιάζεται η έντονη μείωση της παραγωγικότητας που είναι χαρακτηριστική στις καθαρές σειρές του καλαμποκιού.

Στη δημιουργία υβριδίων χρησιμοποιούνται δύο πηγές αρρενοστεριότητας :

A. Ποικιλία Day. Τα αρρενόστερα φυτά της ποικιλίας αυτής, δίνουν με ορισμένες ποικιλίες πάλι αρρενόστερα, ενώ με άλλες γόνιμα υβρίδια. Για την παραγωγή των υβριδίων χρησιμοποιούνται τρεις σειρές (A,B,C) και δύο αγροί διασταυρώσεων κατά το παρακάτω σχήμα:

α) **Σειρά A.** Καλλιεργείται σε απομονωμένο χωράφι όπου δίνει φυτά κατά 50% αρρενόστερα. Από τα αρρενόστερα, συλλέγεται σπόρος, ο οποίος

παρήχθηκε από τη γύρη των γόνιμων φυτών της ίδιας ποικιλίας, και σπέρνεται στον αγρό διασταυρώσεων 1. Τα φυτά ελέγχονται πριν την άνθηση και όσα είναι γόνιμα απομακρύνονται.

β) **Σειρά Β.** είναι γόνιμη, χωρίς γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας και αναπαράγεται σε απομονωμένο χωράφι. Χρησιμοποιείται ως επικονιαστής της Α στον αγρό 1.

γ) Το **προϊόν της διασταυρώσεως ΑxB** του αγρού 1 σπέρνεται σε γραμμές στον αγρό διασταυρώσεων 2. Ως επικονιαστής χρησιμοποιείται η σειρά C η οποία είναι γόνιμη και συγχρόνως έχει γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας.

δ) Το **προϊόν του αγρού 2 (ΑxBxC)** συγκομίζεται και δίνεται στους παραγωγούς για καλλιέργεια.

B. Κυτοπλασματική αρρενοστεριρότητα. Σ' αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται η ακόλουθη τακτική για την παραγωγή υβριδίων:

α) **Σειρά Α.** είναι αρρενόστερη και αναπαράγεται σε απομονωμένο αγρό από την αντίστοιχη γόνιμη σειρά Α, που διαφέρει μόνο ως προς το κυτόπλασμα.

β) Η **σειρά Α διασταυρώνεται με τη σειρά R**, που περιέχει γονίδια αποκαταστάσεως της γονιμότητας

γ) Το **προϊόν της απλής διασταυρώσεως ΑxR** αποτελεί το σπόρο του υβριδίου που διατίθεται στους παραγωγούς.

Ειδικότερα για την Ευρώπη, γίνονται προσπάθειες για επιλογή γενοτύπων με υψηλή αποτελεσματικότητα χρήσης του αζώτου για μείωση των εισροών της καλλιέργειας και αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες ιδίως κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, ώστε να επιμηκυνθεί η περίοδος συγκομιδής και να διευρυνθεί χρονικά η παροχή πρώτης ύλης στις μονάδες επεξεργασίας. Επίσης για τις μεσογειακές συνθήκες, είναι σημαντική η δημιουργία ανθεκτικών γενοτύπων στην ξηρασία, οι οποίοι να έχουν υψηλό δυναμικό παραγωγής υπό συνθήκες έλλειψης νερού. Έμμεσα κριτήρια

επιλογής τέτοιων γενοτύπων είναι ο μέγιστος χρόνος παραμονής της φυλλοστιβάδας σε φωτοσυνθετική δραστηριότητα, το ύψος των φυτών και μέσος έως μεγάλος βιολογικός κύκλος.

3. Βοτανικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το σόργο (*S.bicolor*) είναι αγενώς πολλαπλασιαζόμενο ετήσιο εαρινό αγρωστώδες φυτό. Το ύψος του κυμαίνεται από 1-5 μέτρα.

Τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο έχουν συνήθως μεγαλύτερο ύψος και δίνουν υψηλές αποδόσεις σε βλαστό και μικρές αποδόσεις σε καρπό, συγκρινόμενα με το καρποδοτικό σόργο.

Το γλυκό σόργο χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα των στελεχών του, ενώ το ινώδες έχει στελέχη με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες.

3.1 Ριζικό σύστημα

Το σόργο αναπτύσσει πολύ ισχυρό θυσσανώδες ριζικό σύστημα. Καθώς η ρίζα ωριμάζει, στην επιδερμίδα σχηματίζεται πυριτική στήλη η οποία εξασφαλίζει επαρκή μηχανική αντοχή κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας, προφυλάσσοντας το ριζικό σύστημα από καταστροφή (Manual FAO).

Το ριζικό σύστημα αποτελείται από πλέγμα κύριων, δευτερογενών και στηρικτικών ριζών. Σε ορισμένες ποικιλίες μπορεί να παρατηρηθούν εναέριες ρίζες (στηρικτικές) όπως στο καλαμπόκι. Το πρωτογενές ριζικό σύστημα του σόργου μοιάζει με αυτό του καλαμποκιού, ενώ το δευτερογενές είναι διπλάσιο, γεγονός που του προσδίδει μεγαλύτερη ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών συστατικών και αντοχή στην ξηρασία.

Η πρωτογενής ρίζα αναπτύσσεται στο αρτίβλαστο. Είναι η μοναδική εμβρυική ρίζα που αναπτύσσεται από το σπόρο κατά το φύτεμα και είναι

προσωρινή. Πριν τη δημιουργία δευτερογενών ριζών, η πρωτογενής ρίζα είναι το κύριο όργανο πρόσληψης νερού και θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος. Οι ώριμες ρίζες σόργου έχουν τυχαία διακλάδωση. Οι μόνιμες αυτές ρίζες έχουν πολυάριθμες διακλαδισμένες πλευρικές ρίζες που αναπτύσσονται στο έδαφος προς όλες τις κατευθύνσεις.

Ο βαθμός ανάπτυξης και διείσδυσης του ριζικού συστήματος στο έδαφος εξαρτάται από συνδυασμό παραγόντων που σχετίζονται με το φυτό και το έδαφος, όπως η εδαφική αντίσταση, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την κοκκομετρική σύσταση, τη δομή και την περιεχόμενη υγρασία του εδάφους. Το ριζικό σύστημα αποτελεί το 10% - 12% του συνολικού ξηρού βάρους του φυτού.

Γενικά το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος σε πλήρως ανεπτυγμένα φυτά βρίσκεται μεταξύ 0,9 – 1,2 μέτρα ενώ οι ρίζες φτάνουν σε βάθος 1,8 – 2,7 μέτρα (Arnon, I., 1972). Το κύριο ριζόστρωμα είναι σε μεγαλύτερο βάθος σε ξηρικές καλλιέργειες (Καραμάνος, 1999).

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματική χρήση του νερού και την αντοχή στην ξηρασία είναι η αποτελεσματικότητα του ριζικού συστήματος. Ενώ το πρωτογενές ριζικό σύστημα του καλαμποκιού και του σόργου είναι εξίσου εκτεταμένο, ωστόσο το σόργο σχηματίζει διπλάσιο αριθμό δευτερογενών ριζών, συγκριτικά με το καλαμπόκι, σε όλα ανεξαρτήτως των στάδια ανάπτυξης (Manual FAO, Καραμάνος, 1999). Επομένως υπάρχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού (σχεδόν διπλάσια) στο σόργο, σε σύγκριση με το καλαμπόκι. Αυτό έχει μεγάλη οικολογική σημασία εάν ληφθεί υπόψη ότι η φυλλική επιφάνεια του σόργου είναι η μισή από εκείνη του καλαμποκιού. Επίσης μεγάλη είναι και η απορροφητική ικανότητα του ριζικού συστήματος του σόργου.

Μετά το σχηματισμό 3-4 φύλλων από το φυτό, δευτερογενείς ρίζες αναπτύσσονται από το πρώτο γόνατο της βάσης του στελέχους, κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου του φυτού οι δευτερογενείς ρίζες παρέχουν νερό και θρεπτικά στοιχεία. Σε πορώδη εδάφη σχηματίζεται πολύ αναπτυγμένο ριζικό σύστημα. Σε ξηρά κλίματα, ο αριθμός δευτερογενών ριζών είναι μικρότερος, ωστόσο φτάνουν σε μεγαλύτερο βάθος

και εκμεταλλεύονται την υγρασία που υπάρχει εκεί, παρέχοντας μεγάλη αντοχή των φυτών στην ξηρασία (Manual FAO) .

Οι στηρικτικές ρίζες του φυτού ονομάζονται και εναέριες. Εκφύονται από τα τέσσερα πρώτα γόνατα του στελέχους και αποτελούν τη βάση στήριξης του φυτού. Οι εναέριες ρίζες έχουν μεγαλύτερο πάχος και είναι πιο ανθεκτικές στη μηχανική καταπόνηση από τις υπόγειες, παρέχοντας ισχυρή στήριξη. Ο αριθμός τους ποικίλει ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την ποικιλία. Εκτός του στηρικτικού ρόλου, απορροφούν νερό και θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος. Η δημιουργία αναχωμάτων κατά την καλλιέργεια του σόργου βελτιστοποιεί την αποτελεσματικότητα των εναέριων ριζών τόσο ως προς την στήριξη που αυτές παρέχουν στο φυτό όσο και ως προς την ικανότητα απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων.

3.2 Βλαστός

Μετά το φύτευμα, αναπτύσσεται ο γονατώδης βλαστός, από τον οποίο εκφύονται τα «αδέρφια» από τη βάση του φυτού.

Τα ώριμα στελέχη του σόργου έχουν διάμετρο 1 - 5 εκατοστά ενώ η τυπική διάμετρος είναι 1,5 - 3 εκατοστά. Το βάρος του βλαστού ποικίλει ευρέως ανάλογα με την ποικιλία, την πυκνότητα φύτευσης, το περιβάλλον και τις συνθήκες ανάπτυξης και μπορεί να φτάσει μέχρι και 3,6 κιλά (Manual FAO). Στο γλυκό σόργο τα σάκχαρα αποτελούν περίπου το 38-41% του ξηρού βάρους των στελεχών, ενώ στο ινώδες μόνο το 9-12% (ΚΑΠΕ , 2004).

Στο γλυκό σόργο, οι χλωροί βλαστοί του αποτελούνται κατά 65% από χυμώδη εντεριώνη πλούσια σε διαλυτά σάκχαρα και κατά 35% από το φλοιό που είναι πλούσιος σε ίνες, λιγνίνη και φαινολικά οξέα. Ο βλαστός αποτελείται κατά 85% από νερό και σάκχαρα με το 98% των σακχάρων του γλυκού σόργου να βρίσκεται στο στέλεχος και μόνο το 2% στα φύλλα και τα καρποφόρα όργανα. Ο σακχαρικός τίτλος (Brix) του χυμού στο βλαστό εξαρτάται από την ποικιλία, τις συνθήκες του περιβάλλοντος και το χρόνο

συγκομιδής. Έχει τιμές 7-24% και μπορεί να διαφέρει ανάμεσα στα φυτά της ίδιας ποικιλίας (Manual FAO).

Εξωτερικά ο βλαστός καλύπτεται από ένα σκληρό και παχύ μεμβρανώδη ιστό ενώ η επιδερμίδα του βλαστού καλύπτεται από λευκή κηρώδη σκόνη, η οποία έχει διπλό ρόλο. Αφενός εμποδίζει την απώλεια υγρασίας από το φυτό σε περιόδους ξηρασίας και αφετέρου δεν επιτρέπει την είσοδο νερού στο βλαστό σε συνθήκες περίσσειας νερού, κάνοντας το σόργο ιδιαίτερα ανθεκτικό τόσο στην ξηρασία όσο και σε συνθήκες υπερβολικής υγρασίας (Manual FAO).

Το ύψος των στελεχών ποικίλει από 0,6 - 5 μέτρα και εξαρτάται κυρίως από την ποικιλία και δευτερευόντως από τη γονιμότητα του εδάφους, τη θερμοκρασία, τη φωτοπερίοδο τις συνθήκες ανάπτυξης και το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων το οποίο καθορίζεται από τέσσερεις ανεξάρτητους γόνους που δρουν προσθετικά. Αυτοί επηρεάζουν το μήκος του μεσογονατίου χωρίς να επηρεάζουν τον αριθμό των φύλλων ή τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Quinby & Karper, 1954).

Οι ποικιλίες μικρού βιολογικού κύκλου έχουν στελέχη μικρότερου ύψους από τις ποικιλίες μεγάλου βιολογικού κύκλου. Επίσης, σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη όπου η φωτοπερίοδος είναι μεγαλύτερη και το βλαστικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών είναι μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, τα φυτά αποκτούν μεγαλύτερο ύψος. Γενικά όταν οι γενότυποι του σόργου καλλιεργούνται σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, κοντά στον ισημερινό, τα φυτά γίνονται κοντύτερα, ενώ βορειότερα τα φυτά αποκτούν μεγαλύτερο ύψος (Manual FAO).

Στο στέλεχος σχηματίζονται από 10 έως 20 γόνατα. Τα μεσογονάτια διαστήματα είναι μικρότερα στη βάση και μεγαλύτερα στο μέσο του στελέχους. Στο ανώτερο τμήμα του βλαστού τα μεσογονάτια διαστήματα σταδιακά γίνονται μικρότερα αλλά το τελευταίο μεσογονάτιο (κάτω από το φύλλο «σημαία») είναι μακρύτερο. Η βάση του βλαστού είναι πάντα μεγαλύτερης διαμέτρου από την κορυφή (Manual FAO).

Από κάθε γόνατο εκφύεται ένα φύλλο. Στο γόνατο υπάρχει αυλάκωση, στην πλευρά που εκφύεται το φύλλο, που φέρει ένα μασχαλιαίο οφθαλμό.

Ορισμένες ποικιλίες δεν έχουν τέτοιες αυλακώσεις και εμφανείς μασχαλιαίους οφθαλμούς. Γενικά οι μασχαλιαίοι οφθαλμοί είναι σε λήθαργο (Manual FAO).

Κατά το στάδιο του «αδερφώματος» στη βάση του στελέχους σχηματίζονται 1 - 5 οφθαλμοί που δίνουν νέα στελέχη που ονομάζονται «αδέρφια». Το αδελφωμα ευνοείται από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες καθώς και από χαμηλές πυκνότητες φυτών. Τα αδέρφια δημιουργούν ανεξάρτητο ριζικό σύστημα. Η ικανότητα των φυτών να παράγουν αδέρφια έχει μεγάλη πρακτική σημασία καθώς με το αδελφωμα είναι δυνατόν να αντισταθμιστεί το αραιό φύτεμα ή οι προσβολές από έντομα και ασθένειες (Παπακώστα, 1996-1997) ,ενώ είναι κύριος παράγοντας των σχετικά υψηλών αποδόσεων του σόργου σε βιομάζα όταν επικρατούν συνθήκες υδατικού στρες για την καλλιέργεια.

Αν μετά την ωρίμανση του σπόρου αφαιρεθεί η ώριμη ταξικαρπία του φυτού, τότε εκφύονται 2 - 3 νέοι οφθαλμοί στο ανώτερο τμήμα του στελέχους. Κάθε τέτοιος οφθαλμός μπορεί να δώσει νέα ταξιανθία μετά την έκπτυξη 1 - 2 φύλλων ενώ οι αναπτυσσόμενοι βραχίονες μπορεί να φτάσουν σε μήκος τα 40 εκατοστά (Manual FAO) .

Στο γλυκό σόργο η αφαίρεση της ταξιανθίας έχει ως αποτέλεσμα τάση για αδελφωμα, υψηλότερη περιεκτικότητα των βλαστών σε χυμό αλλά μικρότερη περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά σάκχαρα και σακχαρόζη. Στην περίπτωση όμως που λάβει χώρα αφαίρεση της ταξικαρπίας κατά το στάδιο του γάλακτος του σπόρου, επιταχύνεται η συσσώρευση των σακχάρων στο στέλεχος και μειώνεται το ποσοστό πλαγιάσματος των φυτών, συντελώντας σε πρωιμότερη και ευκολότερη συγκομιδή της καλλιέργειας.

Μετά τη συγκομιδή και στελεχοκοπή της καλλιέργειας, μπορούν να αναπτυχθούν αδέρφια από κοιμώμενους οφθαλμούς των υπολειμμάτων των φυτών. Με τη σωστή διαχείριση αυτά τα αδέρφια μπορούν να εξελιχθούν σε νέα φυτά, τα οποία μάλιστα αναπτύσσονται ταχύτερα από τα σπορόφυτα, λόγω του ήδη καλά αναπτυγμένου ριζικού συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, οι αποδόσεις σε βιομάζα μπορεί να είναι αξιοσημείωτες. Έτσι σε θερμές περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει κίνδυνος παγετού, η καλλιέργεια μπορεί να συγκομιστεί δύο φορές (Manual FAO).

3.3 Φύλλα

Το σόργο έχει φύλλα που μοιάζουν με του καλαμποκιού αλλά είναι μικρότερα κατά 50-60%. Είναι απλά σε δίσειρη διάταξη (δίστιχη φυλλοταξία), κατ' εναλλαγή και αποτελούνται από το έλασμα, τον κολεό και το γλωσσίδιο. Ο κολεός έχει μεγάλο μήκος και το μεγάλο τμήμα του είναι προσκολλημένο στο μεσογονάτιο διάστημα του βλαστού. Το έλασμα είναι πλατύ, λογχοειδές, οδοντωτό στις παρυφές του, με λεία επιφάνεια (Καραμάνος, 1999).

Τα φύλλα έχουν χαρακτηριστικά που φανερώνουν αντοχή στην ξηρασία. Συγκεκριμένα, φέρουν εφυμενίδα με κηρώδες επίχρυσμα και πολλά μηχανικά κύτταρα στην άνω επιδερμίδα που προσδίδουν ικανότητα συστροφής του ελάσματος σε περιόδους ξηρασίας με αποτέλεσμα τη μειωμένη απώλεια νερού. Επίσης, μπορεί να φέρουν τριχίδια τα οποία προσδίδουν αντοχή σε ορισμένους εντομολογικούς εχθρούς. Το μεσόφυλλο έχει την «πανικοειδή» μορφολογία του τύπου C₄ (Καραμάνος, 1999).

Το μήκος των φύλλων κυμαίνεται μεταξύ 30 - 135 εκατοστών και το πλάτος μεταξύ 6 - 13 εκατοστών. Ο αριθμός των φύλλων είναι ίσος με τον αριθμό των γονάτων. Ποικίλουν σε αριθμό από 7 – 27 αλλά συνήθως είναι 7 – 18. ενώ τα στομάτια είναι τοποθετημένα αμφίπλευρα (Leonard & Martin 1963).

Οι πρώιμες ποικιλίες έχουν μικρότερο αριθμό φύλλων από τις όψιμες, ενώ η ίδια ποικιλία σχηματίζει μεγαλύτερο αριθμό φύλλων σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη λόγω της μεγαλύτερης φωτοπεριόδου. Κάθε φύλλο προσθέτει 3 - 4 ημέρες στην περίοδο της ανάπτυξης (Καραμάνος, 1999) .

Το πρώτο φύλλο του φυταρίου είναι μικρότερο και το μέγεθος των φύλλων αυξάνει σταδιακά ως το μέσο του φυτού όπου γίνεται μέγιστο, ενώ κατόπιν μειώνεται βαθμιαία προς την κορυφή. Η θέση του μεγαλύτερου φύλλου είναι συνήθως μεταξύ των φύλλων 5 - 13 (από την κορυφή). Η θέση αυτή σχετίζεται στενά με τη βλαστική περίοδο των διαφόρων ποικιλιών και με

την απόδοση διότι όσο χαμηλότερα βρίσκεται η θέση αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η βλαστική περίοδος και τόσο υψηλότερη η απόδοση της καλλιέργειας. Το τελευταίο φύλλο που εκφύεται ονομάζεται «φύλλο – σημαία».

Σε καλά διαχειριζόμενες καλλιέργειες γλυκού και ινώδους σόργου, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι 4 - 6 σε έναν έως δύο μήνες από το φύτευμα και ο αριθμός των φύλλων ανά φυτό μπορεί να φτάσει τα 22. Το μέσο νωπό βάρος των φύλλων ανά φυτό κυμαίνεται από 150 έως 250 γραμμάρια. Τα φύλλα έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και συνεπώς υψηλή θρεπτική αξία ως ζωοτροφή (Manual FAO).

Σημαντικό στοιχείο που σχετίζεται με το υψηλό παραγωγικό δυναμικό της καλλιέργειας είναι ότι τα φύλλα παραμένουν πράσινα, άρα και φωτοσυνθετικά ενεργά, ακόμη και μετά την ωρίμανση της ταξικαρπίας.

3.4 Αναπαραγωγικά όργανα

Η ταξιανθία του σόργου είναι φόβη, βρίσκεται στην κορυφή του στελέχους και ανάλογα με την ποικιλία μπορεί να είναι από χαλαρή (αραιή) έως συμπαγής, ποικίλου μεγέθους και σχήματος. Ο κεντρικός άξονας φέρει πλάγιους βραχίονες όπου υπάρχουν σταχύδια (άνθη κατά ομάδες) κατά ζεύγη, ένα άμισχο (γόνιμο) και ένα έμμισχο (άγονο). Το γόνιμο σταχύδιο περιέχει δύο άνθη, ένα γόνιμο (το ανώτερο) και ένα στείρο (το κατώτερο). Το γόνιμο άνθος αποτελείται από τρεις στήμονες, μια ωοθήκη με δυο στήλους που καταλήγουν σε πτεροειδή στίγματα και δύο γλωχίνες στη βάση της ωοθήκης. Το σταχύδιο περικλείεται από δύο δερματοειδή λέπυρα. Το γόνιμο άνθος έχει ένα στενό χιτώνα με βραχύ άγανο και μια μικρή λεπίδα. Το στείρο άνθος έχει συνήθως μόνο χιτώνα και όλα τα άλλα μέρη έχουν εκφυλισθεί (Καραμάνος, 1999).

Η ταξιανθία εκφύεται από τον κολεό του φύλλου «σημαία». Η άνθηση ξεκινά από την κορυφή της ταξιανθίας και συνεχίζει προς το κατώτερο τμήμα.

Στο γλυκό σόργο το νωπό βάρος της ταξιανθίας αποτελεί το 5,6-19,67% της συνολικής βιομάζας του φυτού. Το μήκος της κυμαίνεται από 20 έως 70 εκατοστά ανάλογα με τον τύπο και την ποικιλία(Quinby & Karper 1958). Γενικά οι ποικιλίες με υψηλή απόδοση σε βλαστό έχουν χαμηλή απόδοση σε σπόρο. Εξετάζεται η δυνατότητα δημιουργίας ποικιλιών με υψηλή απόδοση τόσο σε βλαστό όσο και σε σπόρο. Σε ποικιλίες γλυκού σόργου τα υψηλά επίπεδα σακχάρων διατηρούνται κατά την περίοδο της καρπώδεσης και η μεταφορά άνθρακα από τα σάκχαρα στους σπόρους είναι ασήμαντη (Manual FAO).

Η άνθηση ξεκινά 2 – 6 ημέρες μετά την εμφάνιση των ταξιανθιών. Ξεκινά από το επάνω μέρος της φόβης και προχωράει προς τα κάτω. Λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή πολύ νωρίς το πρωί. Η διάρκεια είναι συνολικά 5 – 10 ημέρες αλλά εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα. Σε ψυχρές συνθήκες διαρκεί ακόμη και 15 ημέρες.

Μετά την άνθηση και τη γονιμοποίηση ακολουθεί ο σχηματισμός των σπόρων και της ταξικαρπίας και τελικά η ωρίμανση των σπόρων.

3.5 Καρπός

Η ταξικαρπία φέρει μέχρι και 4000 σπόρους. Ο καρπός είναι καρύοψη και αποτελείται από το περικάρπιο, την testa, το ενδοσπέρμιο και το έμβρυο. Ο καρπός περιβάλλεται από δύο λέπυρα τα οποία μπορεί να απομακρύνονται εύκολα ή δύσκολα (δυσκολότερα στο γλυκό σόργο) από την καρύοψη.

Το σχήμα και το χρώμα των σπόρων ποικίλει. Υπάρχουν σφαιροειδείς, ελλειψοειδείς, οβάλ κ.α σχήματα σπόρων ενώ το χρώμα τους μπορεί να είναι λευκό, ανοιχτό κίτρινο, ροζ, κεραμιδί, από ανοιχτό έως σκούρο καφέ, ανάλογα με την ποικιλία. Στον πίνακα 3 αναλύεται η χημική σύσταση των σπόρων του γλυκού σόργου.

Οι χρωστικές βρίσκονται στο περικάρπιο του σπόρου ή την testa. Το σκοτεινό χρώμα υποδηλώνει παρουσία τανίνης η οποία μειώνει την

πεπτικότητα του καρπού ως ζωοτροφή. Το ενδοσπέρμιο αποτελείται από άμυλο (αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη). Το κίτρινο ενδοσπέρμιο υποδηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε καροτένια και επομένως υψηλή θρεπτική αξία (Καραμάνος, 1999).

Η περιεκτικότητα της testa σε τανίνη προσδίδει στο σπόρο ελαφρώς όξινο χαρακτήρα. Η τανίνη μπορεί να εξουδετερώσει την αλκαλικότητα οπότε αν ο σπόρος φυτευτεί σε αλκαλικό περιβάλλον, μπορεί να μειώσει τοπικά την αρνητική επίδραση της αλκαλικότητας στη βλάστηση του.

Ο σπόρος του γλυκού σόργου είναι μικρότερος από του καρποδοτικού σόργου. Το μέσο βάρος 1000 σπόρων είναι περίπου 21 γραμμάρια και κυμαίνεται από 16 - 28 γραμμάρια (25000 ως 61740 σπόροι / κιλό). Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου αποδίδει τουλάχιστον 100 κιλά σπόρου ανά στρέμμα με τυπική παραγωγή 200 - 400 κιλά (Manual FAO) .

4. Φαινολογία – Στάδια Ανάπτυξης

Το γλυκό και το ινώδες σόργο παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης έχοντας μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης 40 - 60 g/m² ανά ημέρα, όταν ο αντίστοιχος ρυθμός ανάπτυξης των C₃ καλλιεργειών είναι 20 - 40 g/m² ανά ημέρα.

4.1 Στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας

Η γνώση των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι χρήσιμη για τον καθορισμό του κατάλληλου χρόνου εκτέλεσης των καλλιεργητικών εργασιών όπως είναι η επιφανειακή λίπανση και η εφαρμογή εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων. Επίσης η γνώση των κριτικών σταδίων του βιολογικού κύκλου, στα οποία τα φυτά είναι ευαίσθητα σε διάφορους παράγοντες, όπως το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία, είναι αναγκαία για τη σωστή διαχείριση της καλλιέργειας (Παπακώστα, 1996-1997).

Το σόργο έχει ευδιάκριτα στάδια ανάπτυξης. Το βλαστικό στάδιο προηγείται της αναπαραγωγικής διαφοροποίησης. Στο στάδιο σχηματισμού των γονάτων (γονάτωμα) η βλαστική και η αναπαραγωγική ανάπτυξη συνυπάρχουν και το ύψος των φυτών τριπλασιάζεται (Guiying *et al.*, 2004).. Πριν την άνθηση τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης χρησιμοποιούνται για την βλαστική ανάπτυξη ενώ μετά την άνθηση, ο αποθησαυρισμός των σακχάρων στο βλαστό κυριαρχεί (Massacci, 1996).

Τα βλαστικά στάδια ανάπτυξης του σόργου είναι τέσσερα: α) στάδιο φυταρίου, β) στάδιο βλαστικής ανάπτυξης, γ) αναπαραγωγική φάση και δ) στάδιο ωρίμανσης.

4.1.1 Στάδιο φυταρίου

Το στάδιο του φυταρίου διαρκεί από το φύτευμα του σπόρου μέχρι την έναρξη του γονατώματος.

Για το φύτευμα του σπόρου απαραίτητα είναι η ύπαρξη εδαφικής υγρασίας, επάρκειας οξυγόνου και κατάλληλες θερμοκρασίες. Όταν η σπορά γίνεται την άνοιξη ο σπόρος φυτρώνει συνήθως 7 - 10 ημέρες ενώ όταν γίνεται το καλοκαίρι απαιτούνται 2 - 3 ημέρες για το φύτευμα, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών (Guiying *et al.*, 2004).

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από έντονη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος το οποίο σε πέντε εβδομάδες φτάνει σε βάθος 100 εκατοστών και πλευρικά σε ακτίνα 50 εκατοστών.

Το αδελφωμα λαμβάνει χώρα όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο των 3 - 5 φύλλων και για το γλυκό σόργο απαιτούνται περίπου 30 ημέρες από το φύτευμα. Γενικά οι ποικιλίες του γλυκού σόργου έχουν μεγαλύτερη τάση αδελφώματος. Αναφέρεται ότι η ποικιλία Brandes αδελφώνει περισσότερο από κάθε άλλη ποικιλία, δίνοντας 4 - 7 αδελφία ανά φυτό. Στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου, το αδελφωμα δεν είναι επιθυμητό, λόγω της αρνητικής επίδρασης του στην ανάπτυξη του κυρίως βλαστού καθώς γίνεται κοντύτερος, λεπτότερος και πολύ πιο ευαίσθητος στο πλάγιασμα. Αντίθετα, ποικιλίες που παρουσιάζουν έντονο αδελφωμα είναι κατάλληλες για χορτοδοτικούς σκοπούς στην κτηνοτροφία (Παπακώστα, 2005).

Το σόργο έχει βραδεία ανάπτυξη κατά τα πρώτα στάδια (Dalianis *et al.*, 1994b, Chiaramonti *et al.*, 2000), ειδικότερα κατά τις πρώτες 50 ημέρες από το φύτευμα (Claassen *et al.*, 2004) και είναι αναγκαία για τα φυτά η ύπαρξη επαρκούς εδαφικής υγρασίας και θρεπτικών. Για το λόγω αυτό είναι επιβεβλημένος ο έλεγχος των ζιζανίων στο ευαίσθητο αυτό στάδιο της καλλιέργειας.

4.1.2 Στάδιο βλαστικής ανάπτυξης

Τα φυτά εισέρχονται στο στάδιο βλαστικής ανάπτυξης περίπου 47-55 ημέρες από το φύτευμα.

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται αρχικά από ταχεία αύξηση της φυλλικής επιφάνειας των φυτών ενώ στην συνέχεια παρατηρείται ταχύτατη αύξηση του μήκους του βλαστού.

Η χρονική διάρκεια του βλαστικού σταδίου εξαρτάται από την ποικιλία. Σε πρώιμες ποικιλίες όπως η Italian, το στάδιο βλαστικής ανάπτυξης διαρκεί μόνο 30 ημέρες ενώ σε ποικιλίες μεγάλου βιολογικού κύκλου όπως

η Μh 1500 διαρκεί 74-90 ημέρες, δηλαδή είναι 2-3 φορές μεγαλύτερο. Όσο μεγαλύτερο είναι το στάδιο αυτό, τόσο ψηλότερα γίνονται τα φυτά και αυξάνεται η παραγωγή βιομάζας (Guiying *et al.*, 2004). Σε πειράματα ποικιλιών γλυκού σόργου στην Ελλάδα, ο μέγιστος ρυθμός συσσώρευσης βιομάζας στα φυτά ήταν κατά την περίοδο μεταξύ 45^{ης} και 80^{ης} ημέρας από το φύτευμα (Dalianis *et al.*, 1994b).

Κατά το στάδιο του γονατώματος γίνεται η αναπαραγωγική διαφοροποίηση των νεαρών φυτών. Η διαφοροποίηση της ταξιανθίας ξεκινά νωρίτερα στις πρώιμες ποικιλίες.

Το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Οι καλλιεργητικές φροντίδες και η σωστή διαχείριση έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς επηρεάζουν άμεσα την τελική απόδοση σε βλαστό και σπόρο (Manual FAO).

Ειδικότερα, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας αυξάνεται εκθετικά κατά την περίοδο της έντονης αύξησης των φυτών της καλλιέργειας, λαμβάνει μια μέγιστη τιμή, που χρονικά συμπίπτει με την περίοδο της ολοκλήρωσης της άνθησης των φυτών και στη συνέχεια υφίσταται μείωση μέχρι το τέλος της καλλιέργειας, που οφείλεται στη γήρανση και σταδιακή πτώση των μεγαλύτερων σε ηλικία φύλλων (Ν. Ασπρούδας και Κ. Αγγελόπουλος, 1999.)

4.1.3 Στάδιο ανθοφορίας

Μετά το τελευταίο φύλλο, το φύλλο «σημαία», ακολουθεί η έκπτυξη της ταξιανθίας. Μία εβδομάδα αργότερα ξεκινά η ανθοφορία και 2 - 5 ημέρες αργότερα η άνθηση. Τα άνθη ανοίγουν σταδιακά από την κορυφή προς τη βάση και από το εξωτερικό προς το εσωτερικό της ταξιανθίας. Κάθε άνθος παραμένει ανοιχτό για μία περίπου ώρα. Τα σταχύδια ανοίγουν τη νύχτα ή τις πρώτες πρωινές ώρες ενώ η ζωτικότητα των γυρεοκκόκων μειώνεται ταχύτατα και εκμηδενίζεται σε 3 -6 ώρες (Καραμάνος, 1999).

Το σόργο είναι αυτογονιμοποιούμενο είδος. Σταυρογονιμοποίηση γίνεται με τη βοήθεια του ανέμου σε μικρό ποσοστό, το οποίο ανάλογα με την ποικιλία κυμαίνεται μεταξύ 0-10% με μέσο όρο περίπου 2%.

Στο γλυκό σόργο, η έναρξη συσσώρευσης σακχάρων αρχίζει με την έναρξη του αναπαραγωγικού σταδίου αλλά μεγιστοποιείται μετά την άνθηση.

Κατά το στάδιο της άνθισης, τα φυτά έχουν τις μέγιστες υδατικές ανάγκες. Επομένως πρέπει να εξασφαλίζεται η κάλυψη των υδατικών αναγκών της καλλιέργειας κατά την πλήρη άνθηση, ιδιαίτερα όταν λαμβάνει χώρα κατά τις καλοκαιρινές ξηροθερμικές συνθήκες, με άρδευση της καλλιέργειας (Guiying *etal.*, 2004).

4.1.4 Στάδιο ωρίμανσης

Κατά το στάδιο της ωρίμανσης μπορούμε να διακρίνουμε τρία επιμέρους στάδια: το στάδιο του γάλακτος, το στάδιο της σκληρής ζύμης ή κηρού και το στάδιο της πλήρους ωρίμανσης.

α) Στάδιο γάλακτος

Μετά την ολοκλήρωση της γονιμοποίησης των ανθέων, ένα μέρος των θρεπτικών συστατικών του φυτού αποθησαυρίζονται στο στέλεχος και τα υπόλοιπα οδηγούνται στους σπόρους. Έτσι παρατηρείται ταχύτατη αύξηση του μεγέθους και του βάρους των σπόρων. Στο στάδιο αυτό οι σπόροι είναι υδαρείς εσωτερικά, γεμάτοι με ένα λευκό γαλακτώδες και παχύρευστο υγρό. Αν ασκηθεί πίεση στο σπόρο εξέρχεται υγρό που μοιάζει με γάλα.

β) Στάδιο της σκληρής ζύμης ή κηρού

Η υγρασία και το νωπό βάρος του σπόρου μειώνεται ταχύτατα, ο σπόρος γίνεται λιγότερο υδαρής και σκληραίνει. Αν ασκηθεί πίεση στο σπόρο εξέρχεται μια κηρώδης πάστα.

γ) Στάδιο πλήρους ωρίμανσης

Ο σπόρος γίνεται ξηρός και σκληρός, η συσώρευση ξηρής ουσίας φτάνει στο μέγιστο και ο σπόρος αποκτά την τελική του εμφάνιση και χρώμα. Από την άνθηση μέχρι την ωρίμανση απαιτούνται περίπου 30 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία.

5. Οικολογία και Περιβαλλοντικές απαιτήσεις

5.1 Οικολογία

Το σόργο παρά την τροπική του καταγωγή προσαρμόζεται εύκολα σε μεγάλο εύρος κλιματικών συνθηκών.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις σε θερμοκρασία και φωτοπερίοδο οι διάφοροι γενότυποι του σόργου διακρίνονται σε τρεις ομάδες (Καραμάνος, 1999):

1) Τροπικά σόργα μεγάλων υψομέτρων: μπορούν να αναπτύσσονται και να αποδίδουν σε μεγάλα υψόμετρα στους τροπικούς και είναι ευαίσθητα στις φωτοπεριοδικές μεταβολές.

2) Εύκρατα σόργα: είναι προσαρμοσμένα σε ζεστές μέρες (25 - 34 βαθμοί Κελσίου) αλλά δροσερές νύχτες (περίπου 19 βαθμοί Κελσίου) και είναι σχετικά αδιάφορα στη φωτοπερίοδο με κρίσιμες τιμές μεταξύ 12 και 13,5 ωρών.

3) Τροπικά σόργα πεδινών περιοχών: έχουν απαιτήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα (πάνω από 21 βαθμούς Κελσίου) και είναι ευαίσθητα στις φωτοπεριοδικές μεταβολές (τυπικά μικρής ημέρας φυτά).

5.2 Θερμοκρασία

Το σόργο λόγω της καταγωγής του από τις τροπικές ζώνες, όπου και μπορεί να καλλιεργηθεί όλες τις εποχές απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες. Σε υποτροπικές και εύκρατες ζώνες μπορεί να καλλιεργηθεί ως εαρινή καλλιέργεια.

Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 8-10 βαθμοί Κελσίου ενώ οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις διαφέρουν μεταξύ των ποικιλιών σόργου και κυμαίνονται μεταξύ 20 - 35 βαθμών Κελσίου (Guiying *et al.*, 2004). Η βασική θερμοκρασία ανάπτυξης του φυτού είναι 9 - 10 βαθμοί Κελσίου αν και για καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας και ταχύτερη ανάπτυξη απαιτείται θερμοκρασία 14 – 15 βαθμών Κελσίου. Οι άριστες θερμοκρασίες ανάπτυξης σύμφωνα με κάποιους ερευνητές είναι 27 - 29 βαθμοί Κελσίου ενώ σύμφωνα με άλλους 33 - 34 βαθμοί Κελσίου (BioMatNet, 2000).

Στο γλυκό σόργο η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ημέρας και νύχτας μετά την άνθιση, ευνοεί τη συσσώρευση σακχάρων στο βλαστό και θρεπτικών στοιχείων στο σπόρο (Manual FAO).

Από τη σπορά μέχρι την ωρίμανση ο αριθμός των βαθμοημερών που απαιτείται είναι διαφορετικός για κάθε ποικιλία. Υπάρχουν ποικιλίες 1500 μέχρι και 2500 βαθμοημερών.

5.3 Φωτοπερίοδος

Το σόργο είναι φυτό βραχείας ημέρας, στο οποίο η άνθιση προκαλείται από την ύπαρξη βραχέων ημερών (μακράς διάρκειας νύχτες), ενώ υπάρχει μεγάλη διακύμανση στη φωτοπερίοδο που απαιτείται από τις διάφορες

ποικιλίες. Για την έναρξη της άνθισης απαιτείται φωτοπερίοδος 14 ωρών αν και υπάρχουν γενότυποι που δεν είναι φωτοευαίσθητοι.

Ημέρες μεγάλης φωτοπεριόδου ευνοούν τη βλαστική ανάπτυξη ενώ μικρής την αναπαραγωγική. Επομένως σε ζώνες μικρού γεωγραφικού πλάτους, με μικρή διάρκεια ημέρας, οι περισσότερες ποικιλίες γλυκού και ινώδους σόργου έχουν μικρότερες αποδόσεις σε βιομάζα. Είναι απαραίτητη η επιλογή του κατάλληλου γενοτύπου με την καλύτερη προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες φωτοπεριόδου για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων (Guiying *et al.*, 2004).

Ο χρόνος συγκομιδής εξαρτάται άμεσα από το γενότυπο και το χρόνο σποράς. Σε περιοχές όπου οι συνθήκες περιβάλλοντος δεν επιτρέπουν μεγάλη διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου πρέπει να χρησιμοποιούνται πρώιμες ποικιλίες (π.χ Italian), ενώ αντίθετα σε περιοχές μακράς καλλιεργητικής περιόδου συνίσταται η χρήση ποικιλιών μεγάλου βιολογικού κύκλου (π.χ Theis, Cowley) (Guiying *et al.*, 2004).

5.4 Βροχόπτωση και Υγρασία

Το σόργο θεωρείται ως ένα από τα ανθεκτικότερα και παραγωγικότερα φυτά ακόμη και σε ημίξηρες περιοχές με ετήσιο ύψος βροχής 350 - 400 χιλιοστά.

Σε ξηρά κλίματα απαιτείται άρδευση όταν το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι μικρότερο από 500 χιλιοστά, ενώ όταν η βροχόπτωση ξεπερνά τα 700 χιλιοστά δεν χρειάζεται άρδευση της καλλιέργειας.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της καλλιέργειας του σόργου είναι ότι ακόμα και κάτω από συνθήκες περιστασιακής διακοπής αρδευτικού νερού και ολικής έλλειψης υγρασίας δεν επέρχεται μόνιμη μαρανση αλλά αναστολή της αύξησης (λήθαργος) μέχρι την επόμενη βροχή ή εφαρμογή άρδευσης. Λόγω της αντοχής του στην ξηρασία ο Arnon (1972) το αποκαλεί «καμήλα του φυτικού βασιλείου» (Καραμάνος, 1999).

Σε συνθήκες έλλειψης νερού παρατηρούνται πολυάριθμες φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές στα φυτά και πολυάριθμα γονίδια εκφράζονται δρώντας προστατευτικά. Η μεγάλη αντοχή του σόργου στην ξηρασία οφείλεται σε διάφορα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά όπως:

- Στο πολύ ανεπτυγμένο και αποτελεσματικό ριζικό σύστημα σε συνδυασμό με τη σχετικά μικρή φυλλική επιφάνεια, η οποία για παράδειγμα είναι η μισή από τη συνολική φυλλική επιφάνεια του καλαμποκιού. (Dercas & Liakatas, 1999, EECI, 1999c, Καραμάνος, 1999, Υπουργείο Γεωργίας, 2000, Guiying *et al.*, 2004, Kangama & Rumei, 2005a, LAMNET, 2006a, Farré & Faci, 2006)

- Σε μορφολογικά χαρακτηριστικά των φύλλων που μειώνουν τις απώλειες νερού όπως παχιά εφυμενίδα με κηρώδες υδρόφοβο επίχρισμα (Undersander, 1990b, Guiying *et al.*, 2004, Kangama και Rumei, 2005a) και μηχανικά κύτταρα που προκαλούν τύλιγμα των φύλλων για μείωση της διαπνοής (Undersander, 1990b, Καραμάνος, 1999, Υπουργείο Γεωργίας, 2000, Kangama και Rumei, 2005a).

- Στον αποτελεσματικό έλεγχο από τα στόματα της ανταλλαγής αερίων (CO_2 , O_2 , υδρατμών) μεταξύ φυτού και ατμόσφαιρας. Τα στόματα κλείνουν σε τιμές του υδατικού δυναμικού των φύλλων αρνητικότερες από άλλα φυτά, γεγονός που επιτρέπει στα φυτά να φωτοσυνθέτουν ακόμη και όταν το νερό είναι πολύ περιορισμένο.

- Το οσμωτικό δυναμικό του κυτταρικού χυμού είναι πολύ αρνητικό και επιτρέπει απορρόφηση νερού και σε περιόδους έντονης εδαφικής ξηρασίας. Επίσης διαθέτει μηχανισμούς μείωσης του οσμωτικού δυναμικού σε περιόδους που το νερό είναι περιορισμένο (οσμωρυθμιστική ικανότητα) (Καραμάνος, 1999).

Μάλιστα, το γλυκό σόργο έχει υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού μεταξύ των καλλιεργούμενων φωτοσυνθετικού τύπου C_4 φυτών, όπως για παράδειγμα ο αραβόσιτος και το καρποδοτικό σόργο, τόσο σε συνθήκες επάρκειας όσο και σε συνθήκες έλλειψης νερού, γεγονός που υποδεικνύει ότι επιτυγχάνει αποδοτικότερη χρήση του άνθρακα, έχοντας συγχρόνως

μικρότερες υδατικές απώλειες. Η υπεροχή αυτή του γλυκού σόργου πιθανώς να οφείλεται σε μικρότερες απώλειες C κατά την αναπνοή.

Το σόργο εμφανίζει μεγάλη αντοχή και σε συνθήκες περίσσειας νερού, ιδίως κατά το στάδιο της ωριμότητας (Καραμάνος, 1999).

5.5 Έδαφος

Το σόργο προσαρμόζεται καλά σε μεγάλο εύρος εδαφών. Μπορεί να καλλιεργηθεί σε εδάφη από ελαφρά αμμώδη μέχρι και βαριά αργιλώδη. Ωστόσο, οι καλύτερες αποδόσεις, όπως και στα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά, επιτυγχάνονται σε μέσης σύστασης και γόνιμα εδάφη. Ψυχρά και υγρά εδάφη δεν ευνοούν την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Επίσης πρέπει να αποφεύγονται τα κακοστραγγιζόμενα εδάφη για καλλιέργεια ινώδους σόργου.

Το pH επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και κατά συνέπεια την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Το εύρος του pH για την καλλιέργεια του σόργου είναι 5 - 8,5 με άριστες τιμές 6,2 έως 7,8. Ειδικότερα για την καλλιέργεια του γλυκού σόργου συστήνεται το pH του εδάφους να είναι μεγαλύτερο από 5,8.

Είναι χαρακτηριστική η αντοχή του σόργου σε αλατούχα και αλκαλικά εδάφη. Αναφέρεται αντοχή του σόργου σε εδάφη με υψηλή αλατότητα, ιδίως μετά το αρχικό στάδιο ανάπτυξης (μετά το στάδιο των 4 - 6 φύλλων), ενώ σε τέτοιες συνθήκες ενδείκνυται η καλλιέργεια σε αναχώματα. Επίσης έχει υψηλή ανθεκτικότητα στο ανθρακικό νάτριο. Το φύλλωμα του σόργου είναι ανθεκτικό και σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων (Na, Cl) του αρδευτικού νερού κατά την εφαρμογή καταιονισμού, λόγω της πολύ αργής συσσώρευσης αλάτων δια μέσου των φύλλων (Manual FAO).

5.6 Ακτινοβολία

Η φωτοσυνθετική ικανότητα των C_4 φυτών είναι μεγαλύτερη από τα C_3 , ενώ μεταξύ των C_4 φυτών τα μονοκοτυλήδονα (στα οποία ανήκει και το σόργο) είναι φωτοσυνθετικώς αποδοτικότερα από τα δικοτυλήδονα.

Σε σχέση με τα C_3 φυτά, τα C_4 διαθέτουν διαφορετική ανατομική διάταξη των κυττάρων των φύλλων και διαφορετικούς μοριακούς εξοπλισμούς, με αποτέλεσμα σχεδόν να μην φωτοαναπνέουν ενώ τα κύτταρα του μεσόφυλλου λειτουργούν σαν μια ισχυρή αντλία δέσμευσης CO_2 (συσσωρεύεται έως 50 φορές περισσότερο CO_2). Παράλληλα, η ύπαρξη ενός δεύτερου ενζύμου (PEP- καρβοξυλάση) εκτός από τη Rubis-CO, καθιστά τα C_4 φυτά ικανά να φωτοσυνθέτουν ικανοποιητικά σε ξηροθερμικές συνθήκες, κατά τις οποίες το κλείσιμο των στομάτων προκαλεί πολύ μικρές συγκεντρώσεις CO_2 στο εσωτερικό των φύλλων. Έτσι η ύπαρξη στα C_4 φυτά του κύκλου Hatch – Slack (κύτταρα μεσόφυλλου) πριν τον κύκλο Calvin-Benson (κύτταρα στεφάνης) οδηγεί στην περίπου διπλάσια κατά μέσο όρο φωτοσυνθετική αποδοτικότητα. Επιπλέον, τα C_4 φυτά έχουν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού και αζώτου σε σχέση με τα C_3 φυτά.

Το σόργο ως τροπικό C_4 μονοκοτυλήδονο φυτό έχει πολύ υψηλή φωτοσυνθετική ικανότητα και χρησιμοποιεί αποδοτικότερα το CO_2 . Μάλιστα, είναι από τα φωτοσυνθετικώς αποδοτικότερα C_4 φυτά του πλανήτη. Ο ρυθμός καθαρής φωτοσύνθεσης (καθαρή αφομοίωση CO_2) για το γλυκό και το ινώδες σόργο ανέρχεται σε $70 - 100 \text{ mg } CO_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ και η άριστη θερμοκρασία φωτοσύνθεσης είναι $20 - 30$ βαθμοί Κελσίου, όταν τα φυτά τύπου C_3 παρουσιάζουν μέγιστο ρυθμό μόνο $20 - 50 \text{ mg } CO_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Συνεπώς, συνθήκες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες ανάπτυξης που ευνοούν τις διεργασίες φωτοσύνθεσης καθώς και ύπαρξη επαρκούς εδαφικής υγρασίας, έχουν ως αποτέλεσμα υψηλή παραγωγή βιομάζας.

Είναι αξιοσημείωτο ότι σε ποικιλίες γλυκού και ινώδους σόργου που μελετήθηκαν, βρέθηκε ότι όλες είχαν αξιοσημείωτη περίσσεια σε PEP-

καρβοξυλάση, μέχρι τριπλάσιες ποσότητες, σε σχέση με τις ποσότητες που απαιτούνται για αν υποστηρίξουν μέγιστους ρυθμούς φωτοσύνθεσης των φυτών (Καράταγλης, 1994).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο το γλυκό σόργο έχει 2,3% απόδοση μετατροπής της ηλιακής ενέργειας (προσπίπτουσα ακτινοβολία) σε χημική (βιομάζα). Επίσης έχει από τις υψηλότερες αποδοτικότητες χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας και κατά μέσο όρο παράγει 3,4 – 3,7 γραμμάρια ξηρής βιομάζας ανά MJ φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας (PAR) που απορροφάται από το φυτό (Manual FAO). Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας του γλυκού σόργου σε σχέση με τη φωτοσυνθετική αποδοτικότητα ενεργειακών και άλλων καλλιεργειών.

Είδος φυτού	Φωτοσυνθετική
	αποδοτικότητα (g ξ.ο / MJ PAR)
Γλυκό σόργο	3,4 - 4,96
Καρποδοτικό σόργο	2,4 – 3,39
Αραβόσιτος	2,1 – 3,2
Ζαχαροκάλαμο	2,7
Μίσχανθος	3,4 – 4,09
Φυτά C ₃ (μέση τιμή)	2,0
Ηλίανθος	2,05 – 2,78
Σόγια	1,6 – 1,72
Κενάφ	2,45 – 2,46

Πίνακας 2: Σύγκριση της φωτοσυνθετικής αποδοτικότητας του γλυκού σόργου άλλα είδη καλλιεργούμενων φυτών.

Όσον αφορά την επίδραση της UV-B ακτινοβολίας στο σόργο σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακής διατριβής στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, η έκθεση νεαρών φυτών προκάλεσε αρνητικές επιπτώσεις στο ύψος, τη φυλλική επιφάνεια, την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και το υδατικό δυναμικό ενώ παρατηρήθηκαν και συμπτώματα τοξικότητας από την UV-B ακτινοβολία (Χατζηκυριάκου Σ., 2004). Πιο συγκεκριμένα στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σόργου σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η μείωση της χλωροφύλλης ήταν 8,4 Spad, ενώ σε χρόνο έκθεσης των τεσσάρων και δύο ωρών η μείωση ήταν αντίστοιχα 8 Spad και 7,2 Spad σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες. Άρα η αύξηση του χρόνου έκθεσης των φυτών στην UV-B ακτινοβολία μείωσε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό τη χλωροφύλλη. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ανάλυσης της UV-B με τη διάρκεια έκθεσης φαίνεται σε χρόνο έκθεσης των έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία η χλωροφύλλη μειώθηκε κατά 5,9 Spad, ενώ σε χρόνο έκθεσης των τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν αντίστοιχα 5,1 και 2 Spad σε σύγκριση με τα φυτά μάρτυρες, δηλαδή και πάλι μικρότερη όπως και στην περίπτωση των επαρκώς αρδευόμενων φυτών. Επίσης φάνηκε ότι η υδατική καταπόνηση περιορίσε τη μείωση της χλωροφύλλης από την UV-B. Στα επαρκώς αρδευόμενα φυτά σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B ακτινοβολία φαίνεται ότι η μείωση στο υδατικό δυναμικό του σόργου ήταν 4,7bar, ενώ στις περιπτώσεις των τεσσάρων και δύο ωρών στη UV-B η μείωση ήταν 3,3 και 2,9 bar, αντίστοιχα ως προς το υδατικό δυναμικό. Συνεπώς η αύξηση του χρόνου έκθεσης των φυτών στη UV-B ακτινοβολία προκάλεσε σημαντική μείωση στο υδατικό δυναμικό. Στα μερικώς αρδευόμενα φυτά τα αποτελέσματα της ανάλυσης του υδατικού δυναμικού έδειξαν ότι σε διάρκεια έκθεσης έξι ωρών στη UV-B η μείωση στο υδατικό δυναμικό ήταν 2bar, ενώ σε διάρκεια έκθεσης τεσσάρων και δύο ωρών η μείωση ήταν 1,8bar και 0,8 bar αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα αντίστοιχα των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών.

6. ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

Το γλυκό και το ινώδες σόργο είναι εν δυνάμει καλλιέργειες με μεγάλη προσαρμοστικότητα και υψηλές αποδόσεις ωστόσο, για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών πρακτικών διαχείρισης της καλλιέργειας.

Σε δεδομένο περιβάλλον, οι εκροές μιας καλλιέργειας εξαρτώνται αποκλειστικά από τις εφαρμοζόμενες καλλιεργητικές τεχνικές ενώ συγχρόνως μέσω των κατάλληλων πρακτικών μπορεί να επέλθει και μείωση των ενεργειακών εισροών μιας καλλιέργειας.

Η διαχείριση της καλλιέργειας πρέπει να εναρμονίζεται κατά το δυνατόν με τις πρακτικές της αειφόρου γεωργίας και να αποβλέπει σε βέλτιστη παραγωγή με τις ελάχιστες εισροές, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους.

Η βέλτιστη αγρονομική διαχείριση και η κατά περίπτωση καταλληλότερες καλλιεργητικές τεχνικές αποτελούν αντικείμενο συνεχούς έρευνας για το γλυκό και το ινώδες σόργο, τόσο για τη βελτιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος και του καθαρού ενεργειακού κέρδους από την καλλιέργεια, όσο και για την προστασία των αγροοικοσυστημάτων και του περιβάλλοντος γενικότερα.

6.1 Αμειψισπορά

Στις μεσογειακές χώρες ο βιολογικός κύκλος του γλυκού και του ινώδους σόργου (140 - 160 ημέρες) επιτρέπει τη σπορά κάποιας χειμερινής καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τους Monti et Venturi (2003), η τριετής μονοκαλλιέργεια δεν ελάττωσε τις αποδόσεις μη αρδευόμενης καλλιέργειας γλυκού και ινώδους σόργου.

Ο Καραμάνος (1999) αναφέρει ότι το σόργο μπορεί να ακολουθήσει οποιοδήποτε φυτό και οι Grassi et al. (2004) αναφέρουν ότι το γλυκό σόργο μπορεί να ακολουθεί χειμερινά σιτηρά και να ακολουθείται από καλαμπόκι, τεύτλα ή ηλιάνθο. Σύμφωνα όμως με το Bioenergy Holechain συνίσταται να μην είναι αραβόσιτος η προηγούμενη ή η αμέσως επόμενη καλλιέργεια.

Έχει παρατηρηθεί ότι όταν προηγείται σανοδοτικό ψυχανθές έχει πιο ευεργετικά αποτελέσματα στο σόργο από κάποιο καρποδοτικό σιτηρό, επειδή εξοικονομείται εδαφική υγρασία τουλάχιστον κατά 30 - 50% και το έδαφος έχει υψηλότερο επίπεδο γονιμότητας. Επίσης, η εναλλαγή χειμερινής καλλιέργειας ψυχανθούς ή σίκαλης σε κεκλιμένα εδάφη μετά τη συγκομιδή του σόργου μειώνει τη διάβρωση του εδάφους, ενώ η καλλιέργεια ψυχανθούς ελέγχει καλύτερα την έκπλυση του αζώτου και αυξάνει τη διείσδυση του νερού στο έδαφος (Καραμάνος, 1999).

Τα αποτελέσματα σχετικών μελετών στις οποίες εφαρμόστηκαν 19 συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών, στα οποία συμμετείχαν γλυκό και ινώδες σόργο, σόγια, σιτάρι, ελαιοκράμβη, κουκιά, καλαμπόκι και κολοκάσι (*Jerusalem artichoke*), συνοψίζονται στα εξής:

- Στο γλυκό σόργο δεν παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των αποδόσεων του σε όλες τις εναλλαγές καλλιεργειών που συμμετείχε καθώς και σε τριετή μονοκαλλιέργεια. Οι καλύτερες αποδόσεις βιομάζας και σακχάρων ήταν μετά από σιτάρι – κουκιά και σιτάρι – σόγια. Δεν συστήνεται καλλιέργεια ελαιοκράμβης μετά το γλυκό σόργο.

- Στο ινώδες σόργο η τριετής μονοκαλλιέργεια είχε αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης κατά το τρίτο έτος. Οι καλύτερες αποδόσεις ήταν μετά από σιτάρι – σόγια ή σόγια – σιτάρι. Δεν συστήνεται καλλιέργεια σίτου μετά το ινώδες σόργο.

- Οι αποδόσεις γλυκού και ινώδους σόργου αυξάνονται όταν προηγείται καλλιέργεια σιταριού, ενώ για την αποφυγή μείωσης των αποδόσεων σίτου ενδείκνυται ενδιάμεση καλλιέργεια ψυχανθούς (κουκιά, σόγια) μεταξύ ινώδους ή γλυκού σόργου και σιταριού.

Οι επιδράσεις του σόργου είναι αρνητικές στα φυτά που ακολουθούν, κυρίως λόγω της εξάντλησης από το ισχυρό ριζικό σύστημα της εδαφικής

υγρασίας και των θρεπτικών στοιχείων, ιδίως σε πτωχά και ξηρά εδάφη (Παπακώστα, 2005). Επίσης το σόργο αφήνει τον αγρό σε κακή κατάσταση από πλευράς δομής. Οι βώλοι διασπώνται δύσκολα λόγω της ξηρότητας τους και λόγω των πολυπληθών ριζιδίων που εγκλωβίζουν το χώμα, για το λόγο αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην προετοιμασία του εδάφους για την επόμενη καλλιέργεια. Μια πρόσθετη δυσμενής επίδραση φαίνεται να οφείλεται σε φαινόμενα αλληλοπάθειας του σόργου. Εκχυλίσματα από βλαστούς και ρίζες σόργου ήταν περισσότερο τοξικά σε αρτίβλαστα σιταριού συγκριτικά με αντίστοιχα εκχυλίσματα από αραβόσιτο, σιτάρι και βρώμη. Συνίσταται επομένως να ακολουθούν το σόργο εαρινές καλλιέργειες (Καραμάνος, 1999).

Η χρήση του σόργου σε συστήματα εναλλαγής καλλιεργειών έχει και ευεργετικά αποτελέσματα διότι μειώνει τη διάβρωση του εδάφους, λόγω της συγκράτησης από το εκτεταμένο ριζικό του σύστημα.

6.2 Προετοιμασία εδάφους

Το σόργο προσαρμόζεται σε μεγάλο εύρος εδαφών αλλά ευνοούν βαθιά εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία, καλής δομής, καλοστραγγιζόμενα και υψηλής υδατοχωρητικότητας. Η προετοιμασία του εδάφους είναι παρόμοια με του καλαμποκιού.

Η προετοιμασία του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων της χρήσης δισκοσβάρνας και οργώματος, γίνεται το χειμώνα, την άνοιξη και πριν τη σπορά και έχει τρεις σκοπούς:

α) τη βελτίωση της εδαφικής δομής, αυξάνοντας το πορώδες, τον αερισμό και τη διηθητικότητα του εδάφους,

β) την αύξηση της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, ειδικά σε άνυδρες περιοχές, μέσω της απομάκρυνσης των ζιζανίων και

γ) την ενσωμάτωση με όργωμα των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, η οποία συντελεί στη μείωση ζιζανίων, εντομολογικών εχθρών και ασθενειών.

Διατήρηση επαρκούς εδαφικής υγρασίας επιτελείται κυρίως με χειμωνιάτικες κατεργασίες που αυξάνουν τη διηθητικότητα του εδάφους και καταστρέφουν τα ζιζάνια (υνάροτρα, δισκάροτρα, καλλιεργητής).

Είναι πολύ χρήσιμο να γίνεται χειμερινό όργωμα όταν προηγείται καλλιέργεια με μεγάλο όγκο φυτικών υπολειμμάτων όπως το καλαμπόκι. Είναι απαραίτητο το ψιλοχωμάτισμα του εδάφους πριν τη σπορά, με ελαφρύ καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλη σποροκλίνη και επαρκής υγρασία για την ανάπτυξη των φυταρίων, διότι οι σπόροι είναι αρκετά μικρού μεγέθους.

Το ψιλοχωμάτισμα με ελαφρύ καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα πρέπει να αποφεύγεται σε αμμώδη εδάφη λόγω του κινδύνου διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο.

Τα τελευταία χρόνια, για τη μείωση του κόστους παραγωγής, την αποφυγή της διάβρωσης ιδίως των επικλινών εδαφών και τη διατήρηση της οργανικής ουσίας και της εδαφικής υγρασίας αναπτύχθηκαν τεχνικές μειωμένης κατεργασίας του εδάφους. Η μειωμένη κατεργασία επιτυγχάνεται με δυο κυρίως τρόπους. Κατά τον πρώτο τρόπο γίνεται μια ελαφρά κατεργασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους με καλλιεργητή ή δισκοσβάρνα λίγο πριν το χρόνο σποράς. Κατά το δεύτερο τρόπο με σύνθετο μηχανήμα γίνεται η κατεργασία του εδάφους σε λωρίδες και στη συνέχεια σπορά στις λωρίδες αυτές. Γενικώς το βάθος κατεργασίας εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, αλλά γενικά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 εκατοστά (Παπακώστα, 1996-1997).

Επίσης η απουσία ζιζανίων από τον αγρό κατά την εποχή σποράς είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την καλή εγκατάσταση της καλλιέργειας, δεδομένου ότι η αρχική ανάπτυξη του σόργου είναι βραδεία. Έχει επομένως μεγάλη σημασία ο χρόνος της τελευταίας κατεργασίας που πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στο χρόνο σποράς.

6.3 Σπορά

6.3.1 Πυκνότητα φυτών

Η πυκνότητα φυτών εξαρτάται από τη βλαστικότητα του σπόρου, την ποιότητα εδάφους, το ποσοστό εδαφικής υγρασίας, το κλίμα και την ποικιλία. Η σωστή πυκνότητα φυτών είναι σημαντική για την μέγιστη αξιοποίηση της γονιμότητας του εδάφους, της υγρασίας, της ηλιοφάνειας και για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων. Ως εκ τούτου συστήνεται υψηλότερη πυκνότητα φυτών σε εδάφη εύφορα και με επάρκεια υγρασίας σε σχέση με άγονα και ξηρά εδάφη.

Σε ποικιλίες που παρουσιάζουν έντονη τάση αδελφώματος η πυκνότητα φυτών που απαιτείται είναι μικρότερη, όπως επίσης και στις μικρόκαρπες ποικιλίες. Επίσης οι υψηλές πυκνότητες συντελούν στην αύξηση του πλαγιάσματος των φυτών, οπότε σε ποικιλίες ευαίσθητες στο πλάγιασμα (κυρίως γλυκού σόργου) ή σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους πρέπει να προτιμούνται μικρότερες πυκνότητες σποράς για ελαχιστοποίηση των απωλειών.

Στις εαρινές σπορές απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα σπόρου ανά στρέμμα σε σχέση με τις θερινές, ενώ για πρώιμες σπορές όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλή ή όταν είναι γνωστή η παρουσία επιζήμιων εντόμων εδάφους, συστήνεται μεγαλύτερη πυκνότητα φυτών.

Στο γλυκό σόργο οι αποστάσεις σποράς είναι 0,75 – 1,00 μέτρο μεταξύ των γραμμών και 0,10 – 0,30 μέτρα επί της γραμμής σποράς, ανάλογα με την ποικιλία και την υγρασία του εδάφους (Καραμάνος, 1999) .

Για την Ελλάδα συστήνεται σπορά του γλυκού και ινώδους σόργου σε αποστάσεις 0,75 μέτρα μεταξύ των γραμμών και 0,125 μέτρα επί της γραμμής σποράς και απαιτούνται 300 – 500 γραμμάρια σπόρου ανά στρέμμα.

6.3.2 Χρόνος σποράς

Το σόργο στις εύκρατες περιοχές σπέρνεται την άνοιξη, ενώ στις τροπικές όλο το χρόνο, ανάλογα με την περίοδο των βροχοπτώσεων.

Ο χρόνος σποράς πρέπει να προσδιορίζεται με βάση τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους. Η ελάχιστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 8 – 10 βαθμοί Κελσίου και η άριστη μεταξύ 20 και 30 βαθμών Κελσίου. Το φύτευμα επιτυγχάνεται σε 5 ημέρες όταν η θερμοκρασία εδάφους είναι 18 – 21 βαθμοί Κελσίου.

Όταν η σπορά γίνεται σε χαμηλότερες των απαιτούμενων θερμοκρασίες, τότε το φύτευμα καθυστερεί σημαντικά και υπάρχει κίνδυνος καταστροφής μεγάλου ποσοστού των σπόρων ή των σποροφύτων από έντομα και μύκητες του εδάφους. Στην περίπτωση που η σπορά καθυστερήσει, η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεν υψηλότερη, αλλά το ποσοστό βλαστικότητας μειώνεται λόγω έλλειψης υγρασίας στο έδαφος, ενώ τα σπορόφυτα αναπτύσσονται γρηγορότερα με αποτέλεσμα να δίνουν φυτά λεπτοστέλεχα με μειωμένη απόδοση, λόγω μικρότερης διάρκειας του βλαστικού σταδίου ανάπτυξης.

Ο καλύτερος χρόνος για τη σπορά γλυκού σόργου είναι όταν η θερμοκρασία του εδάφους, σε βάθος 10 εκατοστών, είναι μεγαλύτερη από 12 - 13 βαθμοί Κελσίου και η εδαφική υγρασία είναι 18 - 20 %, ενώ για το ινώδες σόργο απαιτείται θερμοκρασία εδάφους πάνω από 15 βαθμούς Κελσίου. Σύμφωνα με τον Καραμάνο (1999), η σπορά του σόργου στην Ελλάδα πρέπει να γίνεται όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί στους 16 βαθμούς Κελσίου και χρονικά τοποθετείται περίπου δυο εβδομάδες μετά τη σπορά του αραβοσίτου.

Στις περιπτώσεις θερινής σποράς, αυτή πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη συγκομιδή της προηγούμενης καλλιέργειας, ιδιαίτερα αν αυτή είναι σιτάρι, διότι εξασφαλίζεται υψηλή εδαφική υγρασία (Manual FAO).

6.3.3 Έλεγχοι και χειρισμός του σπόρου

Για επιτυχή σπορά, είναι απαραίτητο να γίνουν οι παρακάτω έλεγχοι και χειρισμοί των σπόρων, ώστε να εξασφαλιστεί υψηλή βλαστική ικανότητα και σωστή πυκνότητα φυτών, χωρίς κενά επί των γραμμών σποράς.

1) Επιλογή των σπόρων: κατά τη διαλογή, απορρίπτονται σπόροι μικροί, λεπτοί, σπασμένοι, προσβεβλημένοι από εχθρούς και ασθένειες ώστε να εξασφαλιστεί υψηλό ποσοστό βλαστικότητας και φυτρώματος.

2) Ξήρανση σπόρων: η ξήρανση εξαλείφει το λήθαργο των σπόρων και προκαλεί την πρώιμη ωρίμανση του. Η ξήρανση γίνεται είτε σε καλά αεριζόμενο αποθηκευτικό χώρο είτε με τη φυσική μέθοδο της ηλιοαποξήρανσης. Η τελευταία μέθοδος μάλιστα, αυξάνει τη διαπερατότητα της επιδερμίδας του σπόρου στο νερό και το οξυγόνο, με αποτέλεσμα την αύξηση της βιωσιμότητας και της βλαστικότητας των σπόρων. Το ποσοστό βλαστικότητας μπορεί να αυξηθεί 5 – 10% με την ηλιοαποξήρανση ενώ τα σπορόφυτα εμφανίζονται 1 – 2 ημέρες νωρίτερα.

3) Δοκιμές βλαστικότητας: για τον προσδιορισμό του ποσοστού βλαστικότητας των σπόρων γίνονται εργαστηριακές δοκιμές, αν και το ποσοστό αυτό είναι πάντα υψηλότερο στο εργαστήριο απ'ότι στον αγρό. Το ποσοστό βλαστικότητας πρέπει να είναι γνωστό ώστε ο παραγωγός να μπορεί να επιτύχει την σωστή πυκνότητα φυτών. Η ελάχιστη βλαστική ικανότητα ενός ικανοποιητικού δείγματος σπόρων στο εργαστήριο είναι 85 – 90% (Manual FAO).

Υπολογίζεται ότι το 60 – 70% των σπόρων εξελίσσονται σε φυτά στον αγρό.

Είναι απαραίτητη η εφαρμογή μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων στο σπόρο για αποφυγή προσβολών. Συνήθως ο σπόρος υβριδίων διατίθεται απολυμασμένος και επενδεδυμένος.

6.3.4 Μέθοδος σποράς

Η σπορά γίνεται κυρίως μηχανικά με σπαρτικές μικρών σιτηρών ή βαμβακιού και αραβοσίτου. Το βάθος σποράς δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5πλάσιο της μεγαλύτερης διαμέτρου του σπόρου (από 1,5 έως 3 εκατοστά). Το μικρότερο βάθος σποράς συνίσταται σε πρῶιμη σπορά κατά την οποία η υγρασία του εδάφους είναι επαρκής και η θερμοκρασία χαμηλή, ενώ η βαθύτερη σπορά γίνεται σε ελαφρά, αμμώδη εδάφη. Σπορά σε μεγάλο βάθος μπορεί να προκαλέσει μειωμένη φυτρωτικότητα και καχεκτικά φυτάρια, ενώ με πολύ ρηχή σπορά (< 1,3 εκατοστά) πιθανώς να προκληθεί μειωμένη ανάπτυξη του ριζώματος με αποτέλεσμα προβλήματα πλαγιάσματος της καλλιέργειας κατά το στάδιο της ωριμότητας (Παπακώστα, 1996-1997).

Οι σπαρτικές μικρών σιτηρών μειονεκτούν ως προς τη δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ποσότητας σπόρου, παρουσιάζεται σχετική ανομοιομορφία ως προς το βάθος σποράς ενώ οι τροχοί τους είναι μικροί και η συμπίεση του εδάφους μετά τη σπορά ατελής. Για το λόγο αυτό προτείνονται κυρίως για σπορά ποικιλιών σανοδοτικού σόργου. Οι σπαρτικές βαμβακιού και αραβοσίτου (πνευματικές) επιτρέπουν ακριβή έλεγχο της ποσότητας του σπόρου, ομοιόμορφο βάθος σποράς και καλύτερη συμπίεση του εδάφους, οπότε βελτιώνονται και οι συνθήκες υγρασίας στη σποροκλίνη.

Όταν το έδαφος είναι πολύ ξηρό οι σπαρτικές πρέπει να φέρουν αυλακωτήρες οι οποίοι απομακρύνουν το επιφανειακό ξηρό έδαφος και σπέρνουν στον πυθμένα των αυλακιών όπου η υγρασία είναι υψηλότερη.

Τέλος σε συμπιεσμένα εδάφη ή εδάφη που η δημιουργία επιφανειακής κρούστας είναι συχνή, τα καλύτερα αποτελέσματα δίνει η καλλιέργεια σε αναχώματα (Καραμάνος, 1999).

6.4 Άλλες καλλιεργητικές εργασίες

Σε περίπτωση που βρέξει πριν το φύτευμα και επικρατήσει μεγάλη ηλιοφάνεια τότε μπορεί να δημιουργηθεί μια αδιαπέραστη κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους, ιδίως σε πολύ ψιλοχωματισμένο έδαφος. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνει κατεργασία του εδάφους με μηχανικό καλλιεργητή, σε μικρό βάθος και κοντά στις γραμμές σποράς, έτσι ώστε να αφαιρεθεί η κρούστα, να αυξηθεί η θερμοκρασία και ο αερισμός του εδάφους και να μειωθούν τα ζιζάνια και οι προσβολές από ασθένειες.

Μετά το φύτευμα είναι ωφέλιμο να γίνει σκάλισμα μεταξύ των γραμμών σποράς συνήθως με μηχανικό σκαλιστήρι. Το σκάλισμα ρυθμίζει την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους, προάγει την ανάπτυξη των φυταρίων, περιορίζει τα ζιζάνια, βελτιώνει τον αερισμό του εδάφους και μειώνει τις προσβολές από εχθρούς και ασθένειες. Επίσης προάγει τη δημιουργία δευτερογενών ριζών και ισχυρότερου ριζικού συστήματος.

7. Στάδια Αύξησης - Ανόργανη θρέψη- Λίπανση

7.1 Αύξηση και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων

Όπως και κάθε άλλη καλλιέργεια, το γλυκό σόργο ανταποκρίνεται στις άριστες συνθήκες αύξησης και διαχείρισης της καλλιέργειας για την παραγωγή των μέγιστων δυνατών αποδόσεων σε δεδομένο περιβάλλον. Η γνώση και η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το φυτό αναπτύσσεται είναι σημαντική, για τον προσδιορισμό των αναγκών της καλλιέργειας και τον καλύτερο σχεδιασμό διαχείρισης των εισροών, με σεβασμό πάντα προς το περιβάλλον.

Τα κύρια στάδια αύξησης του γλυκού σόργου περιγράφονται με δεκαδικούς αριθμούς, όπως και το σύστημα αρίθμησης που χρησιμοποιείται στο καλαμπόκι και γενικότερα στα δημητριακά (Zadoks et al., 1974). Η αύξηση του γλυκού σόργου (κατ' αναλογία με του καρποδοτικού) ορίζεται από το Στάδιο 0 (ανάδυση) έως το Στάδιο 9 (φυσιολογική ωρίμανση). Ο προσδιορισμός των ημερών μετά την ανάδυση που απαιτούνται για την είσοδο του φυτού σε κάθε στάδιο αύξησης αναφέρονται κατά προσέγγιση, καθώς ο χρόνος που απαιτείται για την εναλλαγή μεταξύ των σταδίων επηρεάζεται από την ποικιλία και το περιβάλλον. Επίσης, η εμφάνιση κάθε σταδίου, όπως και η κατάσταση των φυτών σε κάθε στάδιο επηρεάζονται και από δευτερεύοντες παράγοντες, όπως τη γονιμότητα του εδάφους, την προσβολή του φυτού από εχθρούς ή ασθένειες, τον ανταγωνισμό με τα ζιζάνια, την υδατική καταπόνηση (Vanderlip, 1993). Στην εργασία των Brawand et al. (1976), για παράδειγμα, τα φυτά του καρποδοτικού σόργου εισήλθαν στο στάδιο της άνθησης 78-94 ημέρες μετά την ανάδυση, έναντι των 60 ημερών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Στον πίνακα 3 αναφέρονται συγκεντρωτικά τα στάδια αύξησης του σόργου, τα χαρακτηριστικά ταυτοποίησης των σταδίων και ο χρόνος που απαιτείται κατά προσέγγιση για να εισέλθει το φυτό στο κάθε στάδιο αύξησης (από Vanderlip 1993, Jones 1983, και Gerik et al. 2003).

Στάδιο αύξησης	Ημέρες μετά την ανάδυση	Χαρακτηριστικά ταυτοποίησης, σχόλια
0	0	Ανάδυση (3-10 μέρες μετά τη φύτευση). Το 1 ^ο φύλλο (coleoptile) ορατό στην επιφάνεια του εδάφους.
1	10	Ορατή γλωσσίδα (collar) 3 ^{ου} φύλλου. Ο ρυθμός αύξησης του φυτού εξαρτάται πολύ από τη θερμοκρασία. Το σημείο αύξησης του φυτού εξακολουθεί να είναι κάτω από το έδαφος.
2	20	Ορατή γλωσσίδα (collar) 5 ^{ου} φύλλου. Το φυτό μπορεί να έχει χάσει ήδη το 1 ^ο φύλλο. Το σόργο εισέρχεται σε περίοδο γρήγορης αύξησης και πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων. Καθορίζεται η εν δυνάμει αύξηση του φυτού (έλλειψη θρεπτικών ή νερού μπορεί να περιορίσει σημαντικά τις αποδόσεις).
3	30	Διαφοροποίηση του σημείου αύξησης (από βλαστικό σε αναπαραγωγικό). Το 1/3 της φυλλικής επιφάνειας έχει αναπτυχθεί (7-10 φύλλα) και μπορεί να έχουν πέσει τα κατώτερα 1-3 φύλλα. Γρήγορη αύξηση βλαστού και πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων.
4	40	Τελευταίο φύλλο ('σημαία') ορατό, 80 % της ολικής φυλλικής επιφάνειας. Σύλληψη φωτός σχεδόν μέγιστη. Αν και έχει πραγματοποιηθεί μόνο το 1/5 της αύξησης, η πρόσληψη των θρεπτικών είναι μακράν μεγαλύτερη (το 40% του K έχει ήδη προσληφθεί).
5	50	Boot. Όλα τα φύλλα πλήρως ανεπτυγμένα. Ο στάχυς (head) περικλείεται στον διογκωμένο κολέο του φύλλου σημαίας.
6	60	Half bloom. Το 50 % των φυτών σε κάποιο στάδιο άνθησης. Έναρξη σχηματισμού σπόρου. Το 1/2 του ολικού ξηρού βάρους έχει παραχθεί, ενώ η πρόσληψη θρεπτικών έχει φτάσει το 70, 60 και 80 % του ολικού N, P και K αντίστοιχα.
7	70	Soft dough. Γρήγορο γέμισμα σπόρου (το 50 % του ξηρού βάρους έχει συσσωρευθεί), το στέλεχος χάνει βάρος. Σάκχαρα, αμινοξέα και πρωτεΐνες από τα φύλλα και το βλαστό μεταφέρονται στους σπόρους, όπου μετατρέπονται σε άμυλο και πρωτεΐνη. Τα κατώτερα φύλλα χάνονται, παραμένουν 8-12 λειτουργικά φύλλα.
8	85	Hard dough. Το 75 % του ξηρού βάρους του σπόρου έχει συσσωρευθεί. Ο βλαστός έχει πια το χαμηλότερο βάρος του. Η πρόσληψη θρεπτικών έχει ουσιαστικά ολοκληρωθεί.
9	95-100	Φυσιολογική ωρίμανση. Ταυτοποιείται από μία μαύρη κηλίδα στην άκρη του καρπού. Μέγιστη συσσώρευση ξηράς ουσίας.

Πίνακας 3 : Στάδια αύξησης-Ημέρες μετά την ανάδυση-Χαρακτηριστικά ταυτοποίησης.

Τις πρώτες 30-35 μέρες μετά την ανάδυση σχεδόν όλη η αύξηση αφορά τα φύλλα. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των φύλλων και η φυλλική επιφάνεια, αυξάνεται και ο ρυθμός αύξησης, ενώ αμέσως μετά ξεκινάει μία γρήγορη αύξηση του βλαστού. Η αύξηση των φύλλων και του βλαστού συνεχίζεται, έως ότου αποκτήσουν το μέγιστο βάρος τους, με την ολοκλήρωση της άνθησης. Ακολούθως, παρατηρείται μία ταχεία αύξηση του βάρους του στάχους, ενώ μετά τη γονιμοποίηση η αύξηση επικεντρώνεται στο σπόρο, εις βάρος του βλαστού, του οποίου το βάρος μειώνεται, καθώς διοχετεύονται συστατικά από το βλαστό προς το στάχυ του φυτού.

Όπως είναι επόμενο, η πρόσληψη των θρεπτικών στοιχείων προηγείται της συσσώρευσης της ξηράς ουσίας, καθώς τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για την αύξηση του φυτού και για τη συσσώρευση της ξηράς ουσίας. Για παράδειγμα, στις 60 περίπου ημέρες μετά την ανάδυση όπου το 50 % των φυτών βρίσκονται σε κάποιο στάδιο άνθησης (κάθετη διακεκομμένη γραμμή), αν και έχει παραχθεί μόλις το $\frac{1}{2}$ του ολικού βάρους του φυτού, ήδη έχουν προσληφθεί το 60 % του φωσφόρου, το 70 % του αζώτου και το 80 % του καλίου. Δηλαδή, το κάλιο προσλαμβάνεται πιο γρήγορα, και ακολουθείται από το άζωτο και το φώσφορο.

Τα ποσοστά αυτά υπογραμμίζουν τόσο τη σπουδαιότητα των πρώτων σταδίων αύξησης στη θρέψη του σόργου, όσο και το αντίστροφο, δηλαδή το πόσο σημαντική είναι η θρέψη των φυτών στα πρώτα στάδια αύξησης. Το γεγονός αυτό, όμως, δεν πρέπει να υποτιμά το ρόλο της θρέψης και στα επόμενα στάδια, καθώς σημαντικές ποσότητες αζώτου που έχουν προσληφθεί πριν την άνθηση, μεταφέρονται από τα διάφορα μέρη του φυτού για την ανάπτυξη του σπόρου (Muchow, 1990). Έτσι, αν εάν δεν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες θρεπτικών στοιχείων κατά το στάδιο γεμίσματος του σπόρου, αυτή η μετακίνηση μπορεί να προκαλέσει ελλείψεις στα φύλλα και πρόωγη απώλεια των φύλλων, με κόστος στις αποδόσεις της καλλιέργειας (Vanderlip, 1993).

Οι απαιτήσεις για λίπανση εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του εδάφους, το ιστορικό (καλλιέργειες που προϋπήρξαν) και το ύψος της βροχόπτωσης (Wiedenfled, 1984, TNAU, 2006). Βασική συνιστώσα της

αποτελεσματικότητας της λίπανσης και της μέγιστης αξιοποίησης της από την καλλιέργεια είναι η ορθολογική άρδευση. Για παράδειγμα η περίσσεια νερού στην καλλιέργεια οδηγεί σε απώλειες λόγω έκπλυσης νιτρικού N (BioMatNet, 2000). Επίσης ο ρυθμός πρόσληψης και οι απαιτούμενες ποσότητες των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων διαφέρουν μεταξύ των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας (Smith & Frederiksen, 2000).

Για το γλυκό και το ινώδες σόργο, ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους, απαιτείται λίπανση με 5-15 kg N, 3-6 kg P και 6-12 kg K ανά στρέμμα, με το γλυκό σόργο να έχει μεγαλύτερες θρεπτικές ανάγκες σε K (Duke, 1983, Grassi *et al.*, 2004, LAMNET, 2006a).

Η εφαρμογή λιπασμάτων καλό είναι να γίνεται σε δύο δόσεις για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησής τους, ιδιαίτερα σε αμμώδη εδάφη που οι απώλειες μέσω της έκπλυσης είναι υψηλές (Freeman *et al.*, 1973, Mask *et al.*, 1988, Livingston & Coffman, 1995). Το σύνολο των φωσφορικών και καλιούχων λιπασμάτων και το 30-50 % της ποσότητας του άζωτου δίδεται ως βασική λίπανση, η οποία βοηθά για γρήγορη αρχική ανάπτυξη των φυταρίων και το υπόλοιπο άζωτο ως επιφανειακή λίπανση. Το άζωτο στην πρώτη περίπτωση συνιστάται να δίνεται σε αμμωνιακή μορφή η οποία δεν εκπλύνεται εύκολα ενώ στην επιφανειακή λίπανση σε νιτρική μορφή που είναι άμεσα αφομοιώσιμη από τα φυτά (Mask *et al.*, 1988, Θεριός, 1996, Παπακώστα, 1996, TNAU, 2006).

Για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων βιομάζας και σακχάρων πρέπει να γίνεται επιφανειακή λίπανση της καλλιέργειας στον κατάλληλο χρόνο. Το σόργο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες θρεπτικές ανάγκες κατά το στάδιο της ανθοφορίας και καρποφορίας (Guiying *et al.*, 2004). Η επιφανειακή λίπανση πρέπει να εφαρμόζεται όταν τα φυτά έχουν ύψος 20-25 cm (Mask *et al.*, 1988) και οπωσδήποτε πριν αποκτήσουν ύψος 70 cm (Freeman *et al.*, 1973), ενώ συστήνεται να ακολουθείται από κατεργασία του εδάφους (πχ μηχανοσκαλιστήρι) μεταξύ των γραμμών (TNAU, 2006).

7.1.2 Άζωτο

Η αζωτούχος λίπανση αποτελεί σημαντικό κομμάτι των ενεργειακών εισροών και του ισοζυγίου CO₂ της γεωργικής παραγωγής (Torbet *et al.*, 2004). Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα μπορεί να ξεπερνά και το 50% των συνολικών ενεργειακών εισροών μιας καλλιέργειας (Amaducci *et al.*, 2004). Για το γλυκό και το ινώδες σόργο έχει υπολογιστεί ότι σε μη αρδευόμενη καλλιέργειά τους, η λίπανση με 10 kg N ανά στρέμμα αντιπροσωπεύει το 27% των συνολικών ενεργειακών εισροών (Monti & Venturi, 2003).

Σύμφωνα με τους Tonitto *et al.* (2006), από τις συνολικές εισροές αζώτου στα αγροοικοσυστήματα, οι καλλιέργειες εκμεταλλεύονται μόνο το 45-55% αυτών, ενώ το υπόλοιπο N χάνεται μέσω της απονιτροποίησης, της έκπλυσης και της διάβρωσης του εδάφους. Το παραπάνω γεγονός ισχύει και για την καλλιέργεια του σόργου. Ο Ranney (1994) αναφέρει ότι η καλλιέργεια του σόργου εκμεταλλεύεται μόνο το 50% της αζωτούχου λίπανσης, ενώ οι απώλειες υπολογίζονται ότι είναι 15% λόγω έκπλυσης στα υπόγεια ύδατα, 15% λόγω διαφυγής στην ατμόσφαιρα, 10% λόγω της διάβρωσης του εδάφους και 10% μέσω της επιφανειακής απορροής (Ranney, 1994). Η ποσότητα N που χάνεται μέσω της αεριοποίησης ως NH₃ αναφέρεται ότι είναι λιγότερο από το 5% της ποσότητας που προστίθεται με την αζωτούχο λίπανση, σύμφωνα με πειραματικές εργασίες στο γλυκό και ινώδες σόργο (BioMatNet, 2000).

Οι θρεπτικές απαιτήσεις του γλυκού σόργου σε άζωτο επηρεάζουν τη βιωσιμότητά του ως χημικό καύσιμο και πηγή ενέργειας, καθώς ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του, εμπεριέχεται στην ενέργεια που καταναλώνεται για την παρασκευή χημικών λιπασμάτων. Έχει διαπιστωθεί ότι τα φυτά του γλυκού σόργου δεν αποκρίνονται σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις αζωτούχων λιπασμάτων (Dalianis *et al.* 1994, Dalianis *et al.* 1996, Derkas *et al.* 1996, Alexoroulou *et al.* 2000), ενώ εκτιμάται ότι δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις αζώτου και παράλληλα μπορούν να αξιοποιήσουν σε μεγάλο βαθμό το εδαφικό άζωτο, ακόμα και όταν αυτό βρίσκεται σε

περιορισμένη διαθεσιμότητα (Cosentino 1996). Στις περισσότερες των περιπτώσεων όπου εντοπίζεται διαφορά στις αποδόσεις, αφορά δόσεις λιπασμάτων έως και 120 kg N ha^{-1} (Kavadakis et al. 2000, Derkas et al. 2000). Ο Wiedenfied (1984) αναφέρει, μάλιστα, ότι η εφαρμογή δόσεων μεγαλύτερων των 120 kg N ha^{-1} (συγκεκριμένα 224 kg N ha^{-1}) αύξησε ελάχιστα έως καθόλου την πρόσληψη και καθόλου τις αποδόσεις, ενώ μείωσε την ποιότητα του εκχυλιζόμενου χυμού από τους βλαστούς.

Η θρεπτική κατάσταση μιας καλλιέργειας σε N επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης, κυρίως μέσω της φωτοσύνθεσης και της αποτελεσματικότητας μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας (Van Oosterom et al., 2001). Η προσθήκη N στην καλλιέργεια του σόργου μέσω της λίπανσης, αυξάνει την απόδοση της καλλιέργειας σε βιομάζα, κυρίως λόγω της αύξησης της φυλλικής επιφάνειας και της επιμήκυνσης του χρόνου που παραμένει φωτοσυνθετικά ενεργή, με αποτέλεσμα τα φυτά να γίνονται φωτοσυνθετικώς αποδοτικότερα (Albrizio & Steduto, 2003, Albrizio & Steduto, 2005). Επίσης τα φυτά χρησιμοποιούν το νερό αποτελεσματικότερα (Steduto & Albrizio, 2005).

Μια αρνητική επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου είναι ότι συντελεί σε αύξηση του πλαγιάσματος και σπασίματος των στελεχών. Λόγω ισχυρών ανέμων, στην ποικιλία MN 1500 διαπιστώθηκε σχεδόν διπλασιασμός του ποσοστού σπασμένων στελεχών (51,7%) σε λίπανση με 12 kg/στρ N , συγκριτικά με τη μεταχείριση που δεν έγινε λίπανση με N, στην οποία το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 27,3% (IACT, 1998).

Το σόργο προσλαμβάνει από το έδαφος κατά μέσο όρο περίπου $9,7 \text{ kg N/στρέμμα}$, όταν δεν γίνεται εφαρμογή λίπανσης και με συνθήκες υδατικής επάρκειας (BioMatNet, 2000), ενώ για παραγωγή $2,5 \text{ τόνων/στρ}$ ξηρής ουσίας απορροφά $12,5 \text{ kg N/στρέμμα}$ (EECI, 2000g). Η πρόσληψη του εδαφικού N από τα φυτά αυξάνει με αύξηση των επιπέδων αζωτούχου λίπανσης και άρδευσης (Foti et al., 2004). Η μέγιστη αποτελεσματικότητα χρήσης N επιτυγχάνεται από τα φυτά σε συνθήκες εδαφικής υγρασίας που καλύπτουν το 100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (IACT, 1998).

Λόγω της υψηλής αποτελεσματικότητας χρήσης του αζώτου από το σόργο, οι ανάγκες για αζωτούχο λίπανση είναι χαμηλές. Τόσο το γλυκό όσο και το ινώδες σόργο έχουν απαιτήσεις σε αζωτούχο λίπανση της τάξης των 5-10 kg N/στρέμμα (EECI, 1999c, EECI, 1999f, EECI, 2000j).

Ειδικότερα για το γλυκό σόργο, λίπανση μέχρι 9 kg N/στρέμμα φαίνεται να είναι επαρκής, ενώ λίπανση που ξεπερνά τα 12 kg N/στρέμμα δεν ενδείκνυται διότι δεν επιφέρει αύξηση της παραγωγής βλαστών που είναι το κύριο προϊόν του γλυκού σόργου (BioMatNet, 2000) ούτε και της συνολικής βιομάζας (Wiedenfied, 1984). Επίσης πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι μεταξύ λίπανσης 6 και 12 kg N ανά στρέμμα δεν προκύπτει σημαντική διαφορά στην παραγωγή βιομάζας, σε αντίθεση με τη μηδενική αζωτούχο λίπανση όπου η παραγωγή είναι σημαντικά μικρότερη (EECI, 2000g).

Σύμφωνα με τους Grassi *et al.* (2004), για το γλυκό σόργο η τυπική αζωτούχος λίπανση είναι 5-7 kg N/στρέμμα αλλά σε πολύ φτωχά εδάφη απαιτούνται περισσότερο από 15 μονάδες αζώτου.

Σχετικά με τα αποτελέσματα στην Ελλάδα, αύξηση της αζωτούχου λίπανσης από 7 σε 14 και 21 kg N/στρέμμα δεν αύξησε σημαντικά την απόδοση του γλυκού σόργου σε βιομάζα και σάκχαρα (EECI, 1999), ενώ η απόδοση σε βιομάζα δεν διέφερε επίσης μεταξύ αζωτούχου λίπανσης με 6 και 12 kg N/στρέμμα.

Έχει διαπιστωθεί η αποτελεσματικότερη χρήση του νιτρικού αζώτου από το σόργο, σε σχέση με το αμμωνιακό ή το άζωτο ουρίας. Συγκεκριμένα, η χρήση του νιτρικού N είναι 1,4-1,7 φορές αποτελεσματικότερη (EECI, 2000g).

Όταν προηγείται καλλιέργεια κάποιου ψυχανθούς, απαιτούνται χαμηλότερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης για την καλλιέργεια (Grassi *et al.*, 2004). Αναφέρεται ότι το ανόργανο N στο ριζόστρωμα, είναι υψηλότερο κατά 3-6 kg/στρ μετά από καρποδοτικά ψυχανθή σε σχέση με αυτό μετά από σιτηρά, στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος (Shah *et al.*, 2003).

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται, ώστε να υπάρξει ορθολογικό πρόγραμμα λίπανσης και για την καλλιέργεια που θα ακολουθήσει, ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλής περιεκτικότητας εδαφικού N, για να αποφευχθεί η επικίνδυνη μείωση της γονιμότητας του εδάφους (BioMatNet, 2000).

Οι Lemaire et al. (1996), συγκρίνοντας τη δυναμική της πρόσληψης αζώτου ανάμεσα στο καρποδοτικό σόργο και το καλαμπόκι, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ενώ η εν δυνάμει παραγωγή της καλλιέργειας του σόργου είναι χαμηλότερη από του καλαμποκιού σε μη περιοριστικές συνθήκες, η ικανότητα του σόργου να προσλαμβάνει περισσότερο άζωτο από φτωχά εδάφη, και επομένως να προσαρμόζεται σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι μεγαλύτερη. Η δε ικανότητα πρόσληψης αζώτου ανά μονάδα καταναλισκόμενου νερού είναι μεγαλύτερη για το σόργο, γεγονός που προτείνει μειωμένη συγκέντρωση νιτρικών στο έδαφος μετά τη συγκομιδή, και επομένως μείωση του κινδύνου έκπλυσης NO_3^- τον επερχόμενο χειμώνα.

Ο Lockman (1972) δημοσίευσε εύρη επάρκειας για το άζωτο και άλλα στοιχεία σε διάφορα στάδια αύξησης του καρποδοτικού σόργου, γενικεύοντας τα αποτελέσματα τριών χρόνων πειραμάτων πεδίου. Οι συγκεντρώσεις που δίνει κυμαίνονται από 3,0-4,2 % N, ανάλογα με την ηλικία του φυτού και το επιλεγόμενο φύλλο-δείκτη. Οι Quintero et al. (2000), επίσης, στα πλαίσια μελέτης της επίδρασης της αζωτούχου και φωσφορικής λίπανσης στη συγκέντρωση του N σε φύλλα σόργου (καρποδοτικού), προσπάθησαν να συσχετίσουν την περιεκτικότητα αζώτου στα φύλλα με τη διάγνωση της θρεπτικής κατάστασης του φυτού. Ως φύλλο-δείκτης επιλέχθηκε το 4^ο φύλλο από την κορυφή (ξεκινώντας από το φύλλο σημαία), στο στάδιο της άνθησης (half bloom). Σε ανάλογη με τις προηγούμενες εργασίες, οι Brawand et al. (1976) αναφέρουν μία γραμμική σχέση ανάμεσα στην απόδοση σε σπόρο και τη συγκέντρωση του αζώτου στο 2^ο φύλλο από την κορυφή. Συγκεκριμένα, για ένα εύρος συγκέντρωσης 1,7-3,5 %, η απόδοση σε σπόρο αυξήθηκε κατά 1,6 t ha⁻¹ για κάθε αύξηση της τάξεως του 1 % στη συγκέντρωση του αζώτου στο φύλλο-δείκτη.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του αζώτου στο φυτικό ιστό του καρποδοτικού σόργου στα διάφορα στάδια αύξησης υπήρξε ένα από τα αντικείμενα μελέτης του Jones (1983), ως προϊόν μίας ευρείας βιβλιογραφικής έρευνας. Παρατηρεί ότι η επίδραση του σταδίου αύξησης στη διακύμανση της συγκέντρωσης του αζώτου είναι μεγαλύτερη στα πρώτα στάδια (έως το στάδιο 5) από ό,τι στα επόμενα, παρόλα αυτά συνεχίζει να είναι σχετικά

ασταθής και απρόβλεπτη. Αντιθέτως, το στάδιο αύξησης δε φάνηκε να επηρεάζει τη συγκέντρωση του αζώτου στη ρίζα. Παράλληλα, συγκρίνοντας τα επίπεδα του αζώτου στο υπέργειο τμήμα με τα αντίστοιχα του καλαμποκιού, αυτά βρέθηκαν υψηλότερα για κάθε στάδιο αύξησης.

Τα τελευταία χρόνια, στα πλαίσια περιορισμού της χρήσης χημικών λιπασμάτων, υπάρχει έντονη δραστηριότητα στην έρευνα για εκτίμηση εναλλακτικών τρόπων χορήγησης του αζώτου στην καλλιέργεια. Οι Yamoah et al. (1998), ανάμεσα σε άλλα, μελέτησαν την επίδραση του συστήματος αμειψισποράς σόργο/σόγια στην απόκριση του καρποδοτικού σόργου σε αζωτούχο λίπανση. Για την επίτευξη μέγιστων αποδόσεων, το αναγκαίο ποσό λιπασματικού N ήταν χαμηλότερο για το σύστημα αμειψισποράς από ό,τι για συνεχή καλλιέργεια του σόργου. Σε γενικές γραμμές, τα φυτά σόργου που αναπτύχθηκαν σε αμειψισπορά με τη σόγια δεν αποκρίθηκαν στο λιπασματικό N, γεγονός που υποδηλώνει ότι στα συστήματα αυτά δεν απαιτούνται υψηλές δόσεις αζώτου. Σε ανάλογο πείραμα, ο Clegg (1982) είχε νωρίτερα εκτιμήσει ότι το διαθέσιμο άζωτο για το σόργο μετά την καλλιέργειας της σόγιας είναι της τάξεως των $76 \pm 19 \text{ kg N ha}^{-1}$, ενώ για την επίτευξη μέγιστων αποδόσεων, το σόργο χρειάζεται 150 kg N ha^{-1} όταν αναπτύσσεται σε συνεχή καλλιέργεια, έναντι της μισής ποσότητας όταν αναπτύσσεται σε αμειψισπορά.

Αρκετά δεδομένα υπάρχουν και ως προς την απόκριση του σόργου στον εμβολιασμό του εδάφους με ελεύθερα διαβιούντα διαζωτροφικά βακτήρια. Οι Lata et al. (1996) διαπίστωσαν ότι παρουσία βακτηρίων των γενών *Azotobacter* και *Azospirillum*, οι αποδόσεις σε βιομάζα του γλυκού σόργου αυξήθηκαν κατά 29,7 %, η δε περιεκτικότητα σε σάκχαρα των στελεχών κατά 5,5 %. Το 10,7 % του N στο υπέργειο τμήμα φυτών καρποδοτικού σόργου προήλθε από το άζωτο που δεσμεύτηκε από βακτήρια του γένους *Azoarcus* (Stein et al. 1997), ενώ θετικά ήταν για το ίδιο φυτό και τα αποτελέσματα εμβολιασμού με τα *Azospirillum* και *Herbaspirillum* (Kennedy et al., 2004). Συγκεκριμένα για το *Azospirillum brasilense*, οι Lin et al. (1983) είχαν αναφέρει 30-50 % αύξηση στην πρόσληψη NO_3^- , K^+ και H_2PO_4^- καθώς και αύξηση κατά 20-30 % στην ξηρά βιομάζα του καρποδοτικού σόργου, ως αποτέλεσμα της αυξημένης πρόσληψης ανόργανων θρεπτικών στοιχείων.

Οι Saini et al. (2004) μελέτησαν την απόκριση του καρποδοτικού σόργου σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των θρεπτικών απαιτήσεων της καλλιέργειας, συνδυάζοντας εμβολιασμό του εδάφους με μικροοργανισμούς (*Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bacillus*, και *Glomus*), προσθήκη οργανικών και ανόργανων λιπασμάτων και αμειψισπορά με φακές (*chickpea*). Η διαχείριση αυτή είχε θετική επίδραση στην εγκατάσταση και τον πολλαπλασιασμό της μικροβιακής κοινότητας του εδάφους, στην πρόσληψη N και P από τα φυτά και στις αποδόσεις της καλλιέργειας, ενώ τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για επίτευξη μέγιστων αποδόσεων, απαιτείται μόλις το 50 % των ανόργανων λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται στη συμβατική διαχείριση.

7.1.3 Φώσφορος - Κάλιο

Τα υβρίδια του σόργου παρουσιάζουν σχετική ευαισθησία σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο και κάλιο (LAMNET, 2006a).

Όπως προαναφέρθηκε, τα φωσφορικά και καλιούχα λιπάσματα και το αμμωνιακό άζωτο συνίσταται να εφαρμόζονται ως βασική λίπανση. Το αμμωνιακό N, εκτός από την ιδιότητά του να εκπλένεται δύσκολα, επιπρόσθετα συντελεί σε αυξημένη αφομοίωση P από τα φυτά του σόργου, λόγω της μείωσης του εδαφικού pH που συντελεί σε αύξηση της διαλυτότητας του P (Θερίος, 1996, Ortas & Rowell, 2004).

Από τις ποσότητες P και K που προστίθενται στην καλλιέργεια με τη λίπανση, υπολογίζεται ότι τα φυτά εκμεταλλεύονται το 80% και 85% αντίστοιχα, ενώ το 20% και 15% χάνεται λόγω διάβρωσης, επιφανειακής απορροής και έκπλυσης στους υπόγειους υδροφορείς (Ranney, 1994).

Το γλυκό σόργο διαφέρει από το ινώδες στις απαιτήσεις σε K. Οι υψηλές απαιτήσεις σε K οφείλονται στη σύνθεση των υψηλών ποσοτήτων σακχάρων. Το γλυκό σόργο για παραγωγή 2,5 τόνων/στρ ξηρής ουσίας απορροφά 9,2 kg P₂O₅ και 40,3 kg K₂O (EECI, 2000g). Μετά από καλλιέργεια γλυκού σόργου παρατηρείται σημαντική μείωση του K στο έδαφος (EECI, 2000g),

γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη στη λίπανσης που θα εφαρμοστεί στην καλλιέργεια που θα ακολουθήσει.

Ο φώσφορος επηρεάζει την καταβολή των αναπαραγωγικών οργάνων, την αύξηση της ρίζας (Θεριός, 1996), την ρύθμιση της ώσμωσης των φύλλων του σόργου (Hattori *et al.*, 2005) και την ποιότητα του σακχαρούχου χυμού του γλυκού σόργου (Wiedenfied, 1984).

Το κάλιο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό των υδατανθράκων και τη σύνθεση των σακχάρων, είναι ενεργοποιητής ενζύμων (πχ ιμβερτάσης), ρυθμίζει το άνοιγμα των στοματίων και αυξάνει την αντοχή στις ασθένειες (Θεριός, 1996).

7.1.4 Λοιπά θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία

Σε εδάφη με πολύ υψηλό pH (ισχυρώς αλκαλικά) πιθανώς να χρειαστεί προσθήκη σιδήρου (Fe) και ψευδαργύρου (Zn) για αποφυγή τροφοπενιών (Smith & Frederiksen, 2000).

Έχει διαπιστωθεί ότι το πυρίτιο (Si) συντελεί σε αύξηση της αντοχής του σόργου στην έλλειψη νερού (φωτ. 4.1-παράρτημα), αυξάνοντας την ικανότητα του φυτού να απορροφά νερό από το έδαφος (Hattori *et al.*, 2005).

8. Έλεγχος ζιζανίων

Τα ζιζάνια ανταγωνίζονται τα καλλιεργούμενα φυτά σε χώρο, φως, θρεπτικά στοιχεία και νερό με συνέπεια τη μείωση της παραγωγής και την αύξηση του κόστους παραγωγής (Eleftherohorinos, 1996, Smith & Frederiksen, 2000).

Το σόργο είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στον ανταγωνισμό των ζιζανίων λόγω της βραδείας αρχικής του ανάπτυξης (Καραμάνος, 1999) και συχνά είναι δύσκολος ο αποτελεσματικός έλεγχος τους (Ferrell *et al.*, 2005). Η κρίσιμη (ή κριτική) περίοδος ελέγχου των ζιζανίων στο σόργο είναι οι πρώτες τέσσερις

εβδομάδες ανάπτυξης της καλλιέργειας (Smith & Frederiksen, 2000). Γενικά, πρέπει να γίνεται έλεγχος και αντιμετώπιση των ζιζανίων μέχρις ότου τα φυτά να αποκτήσουν σημαντικά μεγαλύτερο ύψος από τα ζιζάνια (Ferrell *et al.*, 2005). Η σωστή καλλιεργητική τεχνική εξασφαλίζει γρήγορη και ομοιόμορφη εγκατάσταση εύρωστης καλλιέργειας και κατ' επέκταση ανταγωνιστικότερης στα ζιζάνια (Eleftherohorinos, 1996).

Σε ότι αφορά τη μηχανική ζιζανιοκτονία, όπως προαναφέρθηκε είναι αναγκαίο ο αγρός να είναι απόλυτα καθαρός κατά τη σπορά, ενώ μετά τη σπορά οι χειρισμοί πρέπει να γίνονται ανάλογα με την ανάπτυξη του ζιζανιοτάπητα και οπωσδήποτε εγκαίρως. Τα σκαλίσματα πρέπει να γίνονται όταν τα ζιζάνια είναι μικρά και πρέπει να είναι επιφανειακά για να μη βλάπτονται οι ρίζες (Καραμάνος, 1999). Επίσης όταν το έδαφος δεν έχει πολύ υγρασία και η θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή, διότι τέτοιες συνθήκες μειώνουν τον κίνδυνο μηχανικής ζημιάς στα καλλιεργούμενα φυτά (οι βλαστοί δεν είναι υδαρείς γι' αυτό σπάζουν δύσκολα) και επιταχύνουν την ξήρανση των εκριζωμένων ζιζανίων (Eleftherohorinos, 1996). Μπορεί να χρειαστούν 2-3 σκαλίσματα μετά το φύτευμα για τον επιτυχή έλεγχο των ζιζανίων (Mask & Morris, 1991).

Η χημική ζιζανιοκτονία διακρίνεται σε προφυτωτική και μεταφυτωτική αλλά πρέπει να γίνεται με προσοχή και περίσκεψη γιατί το σόργο είναι ευαίσθητο στα ζιζανιοκτόνα (Καραμάνος, 1999, Ferrell *et al.*, 2005). Οι βλάβες από τα ζιζανιοκτόνα είναι σημαντικότερες στις ποικιλίες γλυκού σόργου (Mask & Morris, 1991). Δεν υπάρχουν εξειδικευμένα ζιζανιοκτόνα, ούτε επαρκείς σχετικές έρευνες, λόγω του περιορισμένου εμπορικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει μέχρι σήμερα η καλλιέργεια του σόργου (Smith & Frederiksen, 2000).

Συνήθως δεν δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα από ετήσια και πλατύφυλλα ζιζάνια (Undersander *et al.*, 1990a, Ferrell *et al.*, 2005) αλλά κυρίως από πολυετή αγρωστώδη (Mask *et al.*, 1988). Τα πολυετή ζιζάνια όπως η περιπλοκάδα (*Convolvulus arvensis*), ο βέλιουρας (*Sorghum halepense*) και η αγριάδα (*Cynodon dactylon*) είναι εξαιρετικά δύσκολο να ελεγχθούν, ειδικά στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου. Για το

λόγο αυτό χωράφια επιβαρυνμένα με τέτοιου είδους ζιζάνια δεν είναι κατάλληλα για καλλιέργεια γλυκού και ινώδους σόργου (Mask & Morris, 1991, Smith & Frederiksen, 2000, Ferrell *et al.*, 2005, UKCE, 2005). Άλλα ζιζάνια που πιθανώς να δημιουργούν προβλήματα είναι η μουχρίτσα (*Echinochloa crus-galli*), το αιματόχορτο (*Digitaria sanguinalis*) και το βλήτο (*Amaranthus* spp.) (Smith & Frederiksen, 2000).

Τέλος, είναι πιθανό να υπάρξουν σημαντικά προβλήματα ελέγχου των ζιζανίων όταν προηγούμενη καλλιέργεια είναι το καλαμπόκι (Freeman *et al.*, 1973).

8.1 Προφυτρωτική ζιζανιοκτονία

Η εφαρμογή προφυτρωτικού ζιζανιοκτόνου είναι η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος για τον έλεγχο των ζιζανίων στην καλλιέργεια του σόργου. Ανάλογα με το είδος του ζιζανιοκτόνου ίσως χρειαστεί και εφαρμογή στο σπόρο κάποιας προστατευτικής ουσίας (herbicide antidotes ή safeners) για αποφυγή βλαβών, αν και υπάρχει κίνδυνος παρενεργειών όπως μείωση της βλαστικότητας του σπόρου (Smith & Frederiksen, 2000, Gazaway & Mask, 2006b). Στο γλυκό σόργο μπορεί να γίνει προφυτρωτική εφαρμογή *propazine* για τον έλεγχο ετήσιων ζιζανίων αλλά μπορεί να προκληθούν βλάβες στα φυτά, κυρίως σε αμμώδη εδάφη (Freeman *et al.*, 1973).

Μειονέκτημα της προφυτρωτικής ζιζανιοκτονίας είναι ο κίνδυνος έκπλυσης της δραστικής ουσίας, σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης με συνέπεια τη μείωση της αποτελεσματικότητας (Smith & Frederiksen, 2000).

8.2 Μεταφυτρωτική ζιζανιοκτονία

Η Propazine δίνει πιο ασφαλή αποτελέσματα στα νεαρά στάδια της καλλιέργειας από την Atrazine, η οποία μπορεί περιστασιακά να βλάψει τα φυτά του σόργου (Καραμάνος, 1999). Η Atrazine είναι πολύ αποτελεσματική για τα πλατύφυλλα ζιζάνια αρκεί να εφαρμόζεται στον κατάλληλο χρόνο, συνήθως δύο εβδομάδες μετά το φύτευμα ή όταν τα φυτά έχουν ύψος πάνω από 8 cm (Καραμάνος, 1999, Gazaway & Mask, 2006b). Το 2,4 D είναι αποτελεσματικό αλλά πρέπει να εφαρμόζεται επίκαιρα, αλλιώς βλάπτει τα φυτά αν τα φυτά είναι χαμηλότερα από 15 cm η ανάπτυξη των ριζών παρεμποδίζεται ενώ όταν είναι 25-30 cm προκαλεί νανισμό, τάση για πλάγιασμα και μερική στείρωση των ταξιανθιών. Επίσης η άνθηση θεωρείται ευαίσθητο στάδιο για το 2,4 D (Καραμάνος, 1999).

9. Άρδευση

Η άρδευση είναι απαραίτητη στις μεσογειακές κλιματικές συνθήκες διότι η κύρια ανάπτυξη της καλλιέργειας συμπίπτει με την ξηροθερμική περίοδο του θέρους. Δεδομένης της λειψυδρίας στην περιοχή της Μεσογείου, είναι απαραίτητο ένα ορθολογικό πρόγραμμα άρδευσης της καλλιέργειας για αριστοποίηση της χρήσης του αρδευτικού νερού. Έχουν γίνει αρκετά πειράματα αγρού σχετικά με το ισοζύγιο νερού, τα αποτελέσματα των οποίων παρέχουν τα στοιχεία για τον ορθό σχεδιασμό της άρδευσης στο γλυκό και ινώδες σόργο.

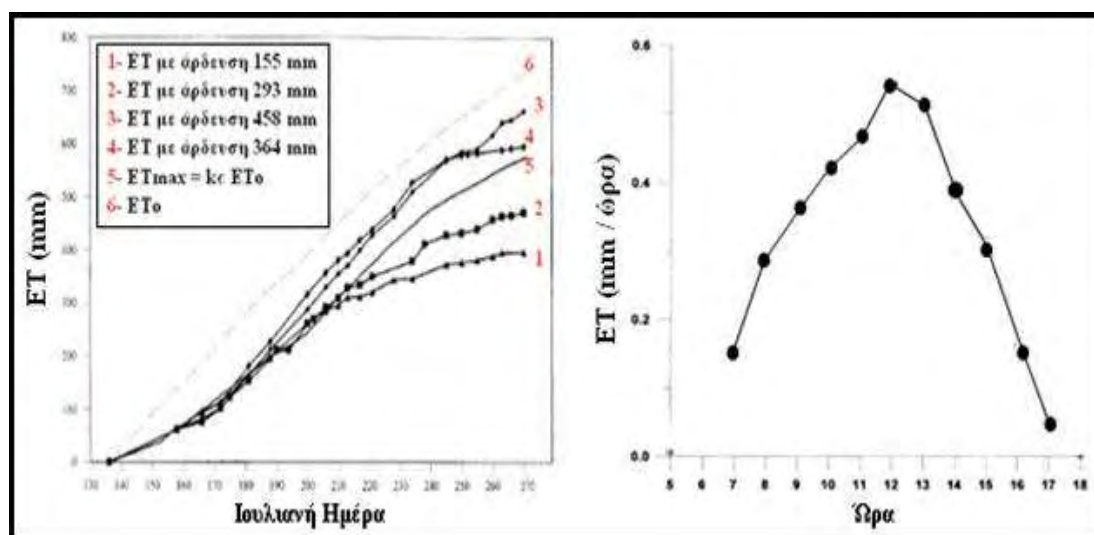
Μια πιθανή προοπτική που πρέπει να ερευνηθεί είναι και η χρήση του νερού από υγρά απόβλητα για την άρδευση της καλλιέργειας (Luger, 1997).

9.1 Γενικές πληροφορίες

Η καλλιέργεια έχει σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε νερό. Οι υδατικές ανάγκες του γλυκού και του ινώδους σόργου για το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου είναι 600-700 mm νερού (Υπουργείο Γεωργίας, 2000). Στα διαγράμματα 2 και 3 παρουσιάζεται η συνολική πορεία της εξατμισοδιαπνοής και σε διάφορα επίπεδα άρδευσης στην Κ. Ελλάδα και η ημερήσια πορεία της εξατμισοδιαπνοής στη Ν. Ιταλία, σε καλλιέργεια γλυκού σόργου.

Συγκριτικά, οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό σε σχέση με άλλα ενεργειακά φυτά είναι αρκετά μικρότερες και ισοδυναμούν με το 1/3, 1/2 και 1/4 των υδατικών αναγκών του ζαχαροκάλαμου, του αραβόσιπου και των δασικών καλλιεργειών μικρού περιόρου κύκλου, αντίστοιχα (LAMNET, 2006a).

Το γλυκό και το ινώδες σόργο έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού. Γενικά απαιτούνται 150-350 λίτρα νερού ανά κιλό παραγόμενης ξηρής βιομάζας όταν οι αντίστοιχες ανάγκες για τις C₃ καλλιέργειες είναι 300-800 λίτρα (El Bassam, 1998), για το σιτάρι 500 και για τη σόγια 700 λίτρα (Grassi *et al.*, 2004).



Διαγράμματα 2 και 3: Συνολική (αριστερά) και ημερήσια (δεξιά) πορεία εξατμισοδιαπνοής σε καλλιέργεια γλυκού σόργου, κάτω από μεσογειακές κλιματικές συνθήκες, από Dercas & Liakatas (1999) και Rana & Katerji (1998) αντίστοιχα.

Σε μεσογειακές συνθήκες η αποδοτικότητα χρήσης του νερού για το γλυκό σόργο έχει μελετηθεί σε διάφορες περιοχές και βρέθηκαν τιμές 200-222 l/kg ξ.ο. στη Γαλλία (Durand *et al.*, 1994), 142-217 l/kg ξ.ο. στην Ισπανία (Fernandez *et al.*, 1994, Curt *et al.*, 1995, Chiaramonti *et al.*, 2000), 154-247 l/kg ξ.ο. στην Ιταλία (Mastorilli *et al.*, 1994, Mastorilli *et al.*, 1995, Mastorilli *et al.*, 1999, Foti *et al.*, 2004) και 181-206 l/kg ξ.ο. στην Κ. Ελλάδα (Dercas & Liakatas, 1999, EUBIONET, 2003, Makridis *et al.*, 2004). Η αποδοτικότητα χρήσης νερού μεγιστοποιείται κατά την περίοδο της ταχείας ανάπτυξης της καλλιέργειας (Kato *et al.*, 2004), ενώ χαμηλότερα επίπεδα άρδευσης οδηγούν σε υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης του νερού από την καλλιέργειας (Foti *et al.*, 2004).

Στις μεσογειακές συνθήκες, απαιτείται άρδευση ύψους 300-700 mm, ανάλογα με τις εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν, για επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε βιομάζα (EECI, 1999c, EECI, 1999f).

9.2 Πρακτική αρδεύσεων

Για μεγιστοποίηση της χρήσης του νερού από την καλλιέργεια, οι ποσότητες άρδευσης πρέπει να είναι επαρκείς και στο σωστό χρόνο ώστε να αποφεύγονται καταστάσεις υδατικού στρες για την καλλιέργεια (Berenguer & Faci, 2001). Η επίδραση της έλλειψης νερού στην τελική παραγωγή της καλλιέργειας εξαρτάται από το φαινολογικό στάδιο στο οποίο λαμβάνει χώρα (BioMatNet, 2000) και για το λόγο αυτό η πρακτική των αρδεύσεων συστήνεται να στηρίζεται στην ευαισθησία των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας στην έλλειψη νερού (Mastorilli *et al.*, 1999). Η άρδευση γίνεται απαραίτητη στην καλλιέργεια του σόργου όταν το έδαφος χάσει το 90% της διαθέσιμης στα φυτά υγρασίας δηλαδή όταν το ποσοστό ενεργού ύδατος (AW) μειωθεί στο 10% (Stricevic & Caki, 1997).

Η καλλιέργεια του σόργου είναι ευαίσθητη στην έλλειψη υγρασίας κατά τα αρχικά στάδια του βλαστικού κύκλου ενώ τα όψιμα στάδια είναι

ανθεκτικότερα στην έλλειψη νερού (Olufayo *et al.*, 1997, Mastrorilli *et al.*, 1999).

Το στάδιο του φυταρίου είναι από τα πιο ευαίσθητα στην έλλειψη νερού (Dercas & Liakatas, 1999), ωστόσο δεν συστήνεται άρδευση κατά το στάδιο αυτό, ώστε να ευνοηθεί η ανάπτυξη ισχυρού ριζικού συστήματος από τα νεαρά φυτά, ενώ μόνο στην περίπτωση που η σπορά γίνει σε έδαφος με ανεπαρκή εδαφική υγρασία και επικρατούν συνθήκες μεγάλης φωτοπεριόδου η άρδευση είναι απαραίτητη (Guiying *et al.*, 2004). Γενικότερα κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης η άρδευση γίνεται απαραίτητη μόνο όταν η εδαφική υγρασία πέφτει κάτω από το σημείο μόνιμης μάρανσης (Mastrorilli *et al.*, 1999, BioMatNet, 2000).

Στο στάδιο του γονατώματος, κατά το οποίο ξεκινάει η βλαστική και αναπαραγωγική ανάπτυξη, το σόργο έχει πολύ υψηλότερες υδατικές ανάγκες. Η έλλειψη νερού σε αυτό το στάδιο θα επηρεάσει την αναπαραγωγική διαφοροποίηση, την παραγωγή σπόρου και την απόδοση των στελεχών, καθώς τα μεσογονάτια διαστήματα θα είναι μικρότερα και τα φυτά θα γίνουν κοντύτερα. Επίσης στο στάδιο αυτό η επάρκεια υγρασίας είναι σημαντική για την αξιοποίηση της επιφανειακής λίπανσης (Guiying *et al.*, 2004). Αναφέρεται ότι η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα μειώθηκε κατά 36%, συγκριτικά με καλά αρδευόμενη καλλιέργεια γλυκού σόργου (παραγωγή 3,16 τόνους/στρέμμα), όταν υδατικό στρες εφαρμόστηκε στο στάδιο επιμήκυνσης του βλαστού (BioMatNet, 2000).

Κατά την άνθιση το σόργο έχει τις μέγιστες υδατικές ανάγκες. Αν επικρατήσουν συνθήκες ξηρασίας και το νερό είναι ανεπαρκές κατά την περίοδο αυτή, τότε προκαλείται ανθόπτωση και παύση της άνθησης. Τα στάδια ανθοφορίας και “γάλακτος” αποτελούν την κριτική περίοδο, ως προς τις υδατικές ανάγκες, για την καλλιέργεια. Άρδευση κατά την περίοδο αυτή αυξάνει την παραγωγή σε σπόρο και επιταχύνει την μεταφορά και συσσώρευση σακχάρων στο στέλεχος (Guiying *et al.*, 2004). Συμπερασματικά, στο στάδιο αυτό απαιτείται αποφυγή υδατικού στρες, ειδικά για την καλλιέργεια του γλυκού σόργου στην οποία ενδιαφέρει η απόδοση σε σάκχαρο.

Από πειραματικά αποτελέσματα σε Ιταλία και Ελλάδα βρέθηκε για το γλυκό σόργο ότι μείωση του όγκου άρδευσης κατά 38%-40% είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της τελικής απόδοσης κατά 22%-30%, συγκριτικά με την καλά αρδευόμενη μεταχείριση (BioMatNet, 2000, Foti *et al.*, 2004), ενώ στο ινώδες σόργο άρδευση που ικανοποιεί το μισό του ελλείμματος εξατμισοδιαπνοής (50% ET) είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της τελικής απόδοσης κατά 50%, συγκριτικά με την καλά αρδευόμενη μεταχείριση κατά την οποία καλύφθηκε πλήρως (100% ET) το έλλειμμα εξατμισοδιαπνοής (Habyarimana, 2004a).

Επίσης όταν προσωρινό υδατικό στρες εφαρμόστηκε σε πρώιμο βλαστικό στάδιο, είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της τελικής παραγωγής βιομάζας και της αποδοτικότητας χρήσης του νερού κατά 30% και 20% αντίστοιχα, σε σχέση με τη μεταχείριση υδατικής επάρκειας, ενώ η εφαρμογή υδατικού στρες σε όψιμα στάδια της καλλιέργειας είχε μικρή επίδραση (Mastrorilli *et al.*, 1999).

Σχετικά με τη μέθοδο άρδευσης, σύμφωνα με πειραματικές εργασίες στην Κ. Ελλάδα σε καλλιέργεια ινώδους σόργου (ποικιλία FS-5) όπου δεν εφαρμόστηκε αζωτούχος λίπανση, βρέθηκε ότι η εφαρμογή υπεδάφιας στάγδην άρδευσης έδωσε 50% και 80% περισσότερη τελική παραγωγή (1,8 τόνοι/στρέμμα ξ.ο έναντι 1,2 και 1,0) σε ξηρή βιομάζα, συγκριτικά με την επιφανειακή στάγδην άρδευση και την άρδευση με καταιονισμό, αντίστοιχα (Sakellariou-Makrandonaki *et al.*, 2003).

Τέλος, η αύξηση της συχνότητας άρδευσης, δηλαδή εφαρμογή ίσης συνολικής ποσότητας νερού αλλά σε μεγαλύτερο αριθμό αρδεύσεων, συντελεί σε αύξηση των τελικών αποδόσεων σε ξηρή βιομάζα στο γλυκό σόργο, χωρίς να επηρεάζει την απόδοση σε σάκχαρα.

Το καλύτερο στάδιο για εξοικονόμηση νερού άρδευσης είναι μετά την περίοδο ταχείας ανάπτυξης της καλλιέργειας που για τις περιοχές της Μεσογείου χρονικά τοποθετείται μετά το δεύτερο μισό του Αυγούστου (Mastrorilli *et al.*, 1999, BioMatNet, 2000).

Οι αποδόσεις του γλυκού σόργου σε βιομάζα και σάκχαρα που ελήφθησαν σε πειράματα του Καμπρανή Α., 2007 στη Δ. Ελλάδα ως

στρεμματικές αποδόσεις στην πλήρη άρδευση είναι ικανοποιητικές και στα ίδια επίπεδα με αντίστοιχες αποδόσεις που ελήφθησαν σε πειράματα που έχουν εκπονηθεί τόσο από ερευνητές του ΚΑΠΕ σε διάφορες περιοχές της χώρας όσο και με τις αποδόσεις από ανάλογα πειράματα στην Ιταλία, Ισπανία και Γαλλία με την αντίστοιχη πυκνότητα φυτών. Οι μέσες αποδόσεις που ελήφθησαν ήταν 8-12 κιλά νωπής βιομάζας ανά τ.μ. όμως με μεγαλύτερο αριθμό φυτών ανά μονάδα καλλιεργούμενου εδάφους (Dalianis *et al.*, 1995). Ο Καμπρανής Α. επιβεβαίωσε την υπόθεση ότι η εφαρμογή βιοκαλλιεργητικών τεχνικών συμβατών προς τον κανονισμό 2091/92 στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου δίνει ισοδύναμες αποδόσεις προς εκείνες του συμβατικού τρόπου καλλιέργειας που προτείνεται διεθνώς (Dalianis 1996; Mastroilli *et al.*, 1999; Curt *et al.*, 1995). Ως προς το δεύτερο παράγοντα (ποσότητα νερού άρδευσης) που μελετήθηκε στο παραπάνω πείραμα σε συνδυασμό προς τη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους, τα πειράματα έδειξαν ότι η μείωση της ποσότητας του νερού άρδευσης την περίοδο της γραμμικής και ταχείας αύξησης των φυτών της καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων σε νωπή βιομάζα όσο και σε σάκχαρα. Η μείωση των αποδόσεων λόγω έλλειψης εδαφικού νερού έχει διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές αν και οι Ιταλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι η επίδραση αυτή είναι εμφανής μόνος όταν υπάρχει έλλειψη εδαφικού νερού στις πρώτες φάσεις ανάπτυξης των φυτών της καλλιέργειας (Mastroilli *et al.*, 1999). Η μείωση των αποδόσεων λόγω της υδατικής καταπόνησης λαμβάνει χώρα την περίοδο που έχουμε υψηλές θερμοκρασίες και υψηλές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας και έλλειψη βροχοπτώσεων στη Δ. Ελλάδα κατά το Μήνα Αύγουστο γεγονός που προκαλεί μεγάλες απώλειες νερού λόγω των υψηλών ρυθμών εξατμισοδιαπνοής. Έτσι το φαινόμενο της μείωσης των αποδόσεων εξαρτάται έντονα από εκάστοτε επικρατούσες κλιματικές συνθήκες.

Σε πειράματα που έχουν διενεργηθεί για την διερεύνηση της επίδρασης της υπόγειας στάγδην άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στην ανάπτυξη και απόδοση ενεργειακού σόργου από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

(Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και Σούλητη Α.,2007) διεξήχθη το συμπέρασμα ότι τα επεξεργασμένα απόβλητα μπορεί να αποτελέσουν μία λύση εξοικονόμηση καθαρού νερού σε περιοχές όπου αντιμετωπίζεται έλλειψη νερού. Βασική προϋπόθεση είναι να γίνεται παρακολούθηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων καθώς και του μικροβιακού φορτίου των επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων. Η επιλογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης, κρίνεται απαραίτητη για την προστασία της δημόσιας υγείας. Στην υπόγεια στάγδην άρδευση δεν τίθεται κάποιο όριο όσον αφορά τα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων επειδή δεν έρχονται σε άμεση επαφή τα απόβλητα με το κοινό και τους εργαζόμενους στο χώρο. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην μεταχείριση με αρδευτικό καθαρό νερό και στη μεταχείριση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, σχεδόν σε όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν (ύψος φυτών, δείκτης φυλλικής επιφάνειας αριθμός φύλλων αριθμός φυτών με ταξιανθία και αριθμός ταξιανθιών ανά φυτό, παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας) εκτός από τον αριθμό των αδελφιών ανά φυτό που έδωσε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων υπέρ αυτών που αρδεύτηκαν με καθαρό νερό καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επιπλέον δεν πραγματοποιήθηκε καμία λιπαντική αγωγή. Ο ρυθμός ανάπτυξης και οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα, και μάλιστα απουσία λιπαντικής αγωγής, καθιστούν φανερή τη δυναμική του γλυκού σόργου ως εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας, ενθαρρύνοντας έτσι και η μελλοντική συμμετοχή του σε προγράμματα αμειψισπορών στα πλαίσια μιας νέας σύγχρονης χαμηλών εισροών και συνεχώς εξελισσόμενης αειφορικής γεωργίας. Επιπλέον με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης, δύναται η δυνατότητα μείωσης της δόσης άρδευσης σε ποσοστό 20% σε σχέση με άλλες μεθόδους άρδευσης που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην ελληνική γεωργία. Ειδικότερα για τα κλιματικά δεδομένα του θεσσαλικού κάμπου ο μέσος όρος των συνολικών αναγκών σε αρδευτικό νερό των καλλιεργειών κατά την αρδευτική περίοδο υπολογίζεται σε 480m³/στεμ. Συνυπολογίζοντας και ενός ποσοστού απωλειών της τάξεως του 20% (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 1996). Σε

πείραμα με μεταχειρίσεις υπόγειας στάγδην άρδευσης και επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε γλυκό σόργο στην περιοχή του Βελεστίνου Θεσσαλίας, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων (Σακελλαρίου-Μαρκαντωνάκη και Κούνης Σ., 2011). Όσον αφορά τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας L.A.I. η μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης είχε τη μεγαλύτερη τιμή δείκτη φυλλικής επιφάνειας ενώ η τιμή του διατηρήθηκε πάνω από το μ.ο. για 10 ημέρες περισσότερο από την τιμή της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Η μεγαλύτερη παραγωγή χλωρής βιομάζας γλυκού σόργου επετεύχθη στη μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης ενώ η μεγαλύτερη παραγωγικότητα στην μεταχείριση της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Τέλος στο ίδιο πείραμα η μεγαλύτερη παραγωγή ξηρής βιομάζας επετεύχθη στη μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης ενώ η μεγαλύτερη παραγωγικότητα στη μεταχείριση της υπόγειας στάγδην άρδευσης.

10. Συγκομιδή και αποθήκευση

10.1 Συγκομιδή και αποθήκευση γλυκού σόργου

Στο γλυκό και ινώδες σόργο συγκομίζεται ολόκληρο το υπέργειο τμήμα του φυτού σε αντίθεση με το καρποδοτικό σόργο από το οποίο συγκομίζεται μόνο ο σπόρος.

Η περίοδος συγκομιδής στην Ελλάδα είναι από αρχές Σεπτεμβρίου μέχρι τέλος Νοεμβρίου.

Ο τρόπος συγκομιδής και ο χρόνος αποθήκευσης εξαρτάται από την κύρια χρήση της καλλιέργειας. Η διαδικασία από τη συγκομιδή μέχρι και την αποθήκευση είναι διαφορετική μεταξύ του γλυκού και του ινώδους σόργου.

Το γεγονός της μικρής εμπειρίας για την καλλιέργεια του γλυκού και ινώδους σόργου στην Ευρώπη υποδεικνύει την ανάγκη περεταίρω έρευνας για βελτιστοποίηση των μεθόδων συγκομιδής και αποθήκευσης με απώτερο σκοπό της αριστοποίηση του οικονομικού και ενεργειακού καθαρού κέρδους.

Στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου, κύριος στόχος είναι η επίτευξη μέγιστης παραγωγής σακχάρων από τα στελέχη.

Η μέγιστη απόδοση σε σάκχαρα επιτυγχάνεται με συγκομιδή στο στάδιο της πλήρους ωρίμανσης της καλλιέργειας. Επειδή το μέγιστο της περιεκτικότητας σε σάκχαρα μπορεί να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή πρέπει να γίνεται σακχαρομέτρηση με φορητό όργανο για τον προσδιορισμό του σωστού χρόνου συγκομιδής (Guiying *et al.*, 2004).

Για την Ευρώπη, ο καλύτερος χρόνος συγκομιδής του γλυκού σόργου είναι από τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι τα μέσα Νοεμβρίου, για μέγιστες σακχαρικές αποδόσεις και αποφυγή του παγετού (IEEP, 2005). Κατά τη συγκομιδή, η υγρασία του γλυκού σόργου κυμαίνεται μεταξύ 65%-80% (Worley *et al.*, 1992a, Trebbi, 1993, Venendaal *et al.*, 1997, P. Venturi & G. Venturi, 2003, Grigatti, *et al.*, 2004) και τα στελέχη αποτελούν το 75-80% της υπέργειας ξηρής βιομάζας (Curt *et al.*, 1994, Curt *et al.*, 1995, Curt *et al.*, 1998, Dolciotti *et al.*, 1998, Gherbin *et al.*, 2004, LAMNET, 2006a). Από τη συνολική βιομάζα του φυτού, τυπικά τα στελέχη αντιπροσωπεύουν το 75%, τα φύλλα το 10-15%, ο καρπός το 7% και οι ρίζες περίπου το 10% (LAMNET, 2006a).

Η εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού από τα στελέχη πρέπει να γίνει άμεσα μετά τη συγκομιδή διότι όταν αυτή καθυστερεί, προκαλείται απώλεια σακχάρων (πίνακας 8.1) και δυσκολία στην εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού (Guiying *et al.*, 2004, Gnansounou *et al.*, 2005).

Η άμεση εξαγωγή του χυμού είναι ακόμη πιο επιτακτική όταν η συγκομιδή γίνεται τέλος καλοκαιριού-αρχές φθινοπώρου, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Σε περίπτωση που οι συγκομισμένοι βλαστοί παραμείνουν στον αγρό για ένα περίπου μήνα με ψυχρό καιρό, δεν επηρεάζεται η παραγωγή σε σάκχαρα. Αν όμως επικρατήσουν υγρές καιρικές συνθήκες προκαλείται σήψη των κομμένων στελεχών που μειώνει την ποιότητα του εξαγόμενου σακχαρούχου χυμού (Guiying *et al.*, 2004).

Κατά την επιλογή συλλεκτικής μηχανής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα στελέχη πρέπει να κόβονται όσο το δυνατόν χαμηλότερα στη βάση τους και

συγχρόνως να διαχωρίζονται από τα φύλλα και τις ταξικαρπίες. Επειδή η ζύμωση των σακχάρων ξεκινά με το κόψιμο των στελεχών, αμέσως μόλις ο χυμός έρθει σε επαφή με τον αέρα, η διάρκεια αποθήκευσης των στελεχών εξαρτάται από τον τρόπο διαχείρισης τους (Trebbs, 1993, IEEP, 2005). Η δημιουργία τομών στα στελέχη μειώνει το χρόνο αποθήκευσης τους. Ολόκληροι βλαστοί μπορούν να αποθηκευτούν για 27 ημέρες σε εξωτερικό χώρο. Όταν τα στελέχη τεμαχίζονται σε μήκος 25-40 cm η διάρκεια αποθήκευσης είναι 19 ημέρες ενώ για τεμάχια 10 cm είναι 12 ημέρες. Τέλος, όταν η καλλιέργεια συγκομιστεί με λεπτοτεμαχισμό των στελεχών (chopped) δεν είναι δυνατή η αποθήκευση της συγκομισμένης βιομάζας και η επεξεργασία (ζύμωση) πρέπει να λάβει χώρα άμεσα (IEEP, 2005).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, πρέπει να επιδιώκεται η συγκομιδή ολόκληρων των στελεχών, χωρίς τα φύλλα και την ταξικαρπία, για την ελαχιστοποίηση της μείωσης των σακχάρων κατά την αποθήκευση και τη μεγιστοποίηση του χρόνου αποθήκευσης.

Σε σχετικές δοκιμές για χρήση των θεριζοαλωνιστικών του αραβόσιτου, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτού του τύπου οι μηχανές δεν είναι κατάλληλες για το γλυκό σόργο διότι δεν είναι δυνατή η αποθήκευση και απαιτείται άμεση επεξεργασία του συγκομισμένου προϊόντος. Μάλιστα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο λεπτοτεμαχισμός των φυτών οδηγεί σε απώλεια 50% των σακχάρων εντός 24 ωρών λόγω φυσικής ζύμωσής τους (EECI, 2000i).

Ένας εναλλακτικός τρόπος συγκομιδής είναι η απευθείας εξαγωγή του σακχαρούχου φυτικού χυμού στον αγρό και η μεταφορά του στις μονάδες επεξεργασίας, αλλά απαιτείται περεταίρω έρευνα για τη συγκεκριμένη μέθοδο (Trebbs, 1993). Ένα τέτοιο μοντέλο ενδείκνυται στην περίπτωση περιοχών στις οποίες υπάρχουν μικρά αγροτεμάχια και μεγάλη διασπορά τους ώστε να αποφευχθεί η δαπανηρή μεταφορά της μεγάλου βάρους και όγκου βιομάζας (Worley *et al.*, 1992b).

Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο, όπως αυτό περιγράφεται από τους Worley *et al.* (1992), συγκομίζονται ολόκληρα τα στελέχη της καλλιέργειας τα οποία στοιβάζονται σε θημωνιές και γίνεται εξαγωγή του χυμού από κατάλληλο μηχάνημα. Ο χυμός μεταφέρεται στις μονάδες

επεξεργασίας ενώ τα υπολείμματα της καλλιέργειας αποθηκεύονται ως ενσίδρωμα σε κοντινό σιλό που ορύσσεται στο έδαφος και μπορούν χρησιμοποιηθούν είτε ως ζωοτροφή είτε ως πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας. Στην ΕΕ δοκιμάζεται μια νέα πρωτότυπη μηχανή συγκομιδής γλυκού σόργου η οποία συγχρόνως με το θερισμό των φυτών εξάγει το φυτικό χυμό από τα στελέχη ενώ τα φυτικά υπολείμματα παραμένουν στον αγρό ώστε να γίνει δεματοποίησή τους στη συνέχεια (Biomatnet, 1997).

Τέλος, στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο το σύνολο της παραγόμενης βιομάζας της καλλιέργειας γλυκού σόργου συγκομιστεί για κτηνοτροφική χρήση (ενσίδρωση για ζωοτροφή) και όχι για ενεργειακούς σκοπούς, ο καλύτερος χρόνος συγκομιδής είναι κατά το στάδιο “γάλακτος” ή πρακτικά όταν το ένα τρίτο των σπόρων έχει το τελικό χρώμα. Αν η συγκομιδή γίνει πολύ νωρίς το ενσίδρωμα θα είναι όξινο και δεν μπορεί να συντηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας υγρασίας των φυτών. Λόγω της ύπαρξης ντουρίνης (γλυκοσίδη) στο βλαστό και τα φύλλα του σόργου, η οποία όταν διασπαστεί δημιουργεί υδροκυάνιο, χρειάζεται προσοχή για αποφυγή δηλητηριάσεων των ζώων. Η περιεκτικότητα HCN συσχετίζεται με την ποικιλία και το στάδιο ανάπτυξης και είναι υψηλή στο στάδιο του φυταρίου και χαμηλή στο στάδιο ωρίμανσης (Παπακώστα, 1996, Guiying *et al.*, 2004).

10.2 Συγκομιδή και αποθήκευση ινώδους σόργου

Στην καλλιέργεια του ινώδους σόργου, η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς το παρόν για παραγωγή στερεών καυσίμων, συνήθως σε συμπιεσμένη μορφή (pellets), για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της βιομάζας.

Είναι επομένως σημαντικό να γίνει μείωση της υγρασίας της βιομάζας στον αγρό, μέσω της ηλιακής ενέργειας (φυσική ξήρανση), ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές εισροές στην αλυσίδα παραγωγής ενέργειας

(Barbucci *et al.*, 1994) και το κόστος μεταφοράς και ξήρανσης της βιομάζας (Venendaal *et al.*, 1997, BioMatNet, 2000).

Η υγρασία του ινώδους σόργου κατά τη συγκομιδή κυμαίνεται μεταξύ 60%-75% (Trebbi, 1993, Venturi & Venturi, 2003, Grigatti, *et al.*, 2004, Habyarimana, 2004a) και τα στελέχη αποτελούν το 70%-75% της υπέργειας ξηρής βιομάζας (Dolciotti *et al.*, 1998, Amaducci *et al.*, 2000, Gherbin *et al.*, 2004). Για συγκομιδή κατά το μήνα Σεπτέμβριο και σε μεσογειακές συνθήκες περιβάλλοντος, η περιεκτικότητα σε υγρασία των φυτών κατά τη συγκομιδή είναι περίπου 70%-75% (Barbucci *et al.*, 1994, Amaducci *et al.*, 2000), ενώ μετά το θέρισμα των φυτών αυτή μειώνεται με φυσική ξήρανση σε 10% μετά από την πάροδο 8 ημερών.

Περιγράφονται τρεις διαφορετικές τεχνικές συγκομιδής και αποθήκευσης του ινώδους σόργου.

Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο (Barbucci *et al.*, 1994), η διαδικασία από τη συγκομιδή μέχρι την αποθήκευση της βιομάζας του ινώδους σόργου περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

α) θέρισμα με ταυτόχρονη σύνθλιψη των βλαστών για επιτάχυνση της ξήρανσης τους,

β) αναμόχλευση (γύρισμα) της βιομάζας μηχανικά κατά τη διάρκεια της ξήρανσης,

γ) συγκομιδή και δεματοποίηση της βιομάζας,

δ) μεταφορά και

ε) αποθήκευση.

Για το θέρισμα της καλλιέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεριζοαλωνιστικές ίδιου τύπου με αυτές των σανοδοτικών καλλιεργειών που συγκομίζουν ολόκληρο το φυτό ή αλωνιστικά μηχανήματα που λεπτοτεμαχίζουν τα φυτά. Στην πρώτη περίπτωση, οι θεριζοαλωνιστικές που διατίθενται στο εμπόριο παρουσιάζουν προβλήματα λόγω του μεγάλου μεγέθους των στελεχών του ινώδους σόργου και γίνονται προσπάθειες να αναπτυχθούν κατάλληλες μηχανές του συγκεκριμένου τύπου. Αντιθέτως, οι θεριζοαλωνιστικές που χρησιμοποιούνται για τη συγκομιδή του αραβόσιπου ως ενσίρωμα, είναι κατάλληλες και για το ινώδες σόργο.

Η αναμόχλευση της βιομάζας γίνεται συνήθως μία φορά μηχανικά, για επιτάχυνση της φυσικής ξήρανσης ώστε η υγρασία της βιομάζας να μειωθεί περίπου στο 10%.

Η συγκομιδή και δεματοποίηση γίνεται, χωρίς να υπάρχει πρόβλημα από τα ήδη διαθέσιμα στο εμπόριο μηχανήματα, σε δέματα κυλινδρικά βάρους 250kg ή παραλληλεπίπεδου σχήματος βάρους 400-450 kg. Οι ενεργειακές εισροές για τα κυλινδρικά δέματα είναι χαμηλότερες αλλά καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο κατά τη μεταφορά. Για μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις (πχ πάνω από 10 km) πρέπει να προτιμούνται τα παραλληλεπίπεδα δέματα για ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς. Τέλος, η αποθήκευση της βιομάζας μπορεί να γίνει είτε απευθείας ως λεπτοτεμαχισμένη βιομάζα, είτε σε μορφή pellets αφού προηγηθεί συμπίεση σε κατάλληλο μηχάνημα συμπίεσης (πελετάιζερ).

Σχετικά με τις άλλες δύο μεθόδους όπως αυτές περιγράφονται από τον Trebbi (1993), στην πρώτη περίπτωση η καλλιέργεια συγκομίζεται επίσης με θεριζοαλωνιστική αραβόσιπου και η λεπτοτεμαχισμένη βιομάζα περιεκτικότητας περίπου 65% αποθηκεύεται στον αγρό, σε οριζόντιο σιλό που ορύσσεται στο έδαφος, του οποίου η ελεύθερη επιφάνεια καλύπτεται τελικά με πλαστικό φύλλο.

Κατά τη δεύτερη μέθοδο, η καλλιέργεια θερίζεται χωρίς να λεπτοτεμαχιστεί και γίνεται φυσική ξήρανση της βιομάζας ώστε η περιεκτικότητα υγρασίας να πέσει στο 20-25%. Κατόπιν γίνεται δεματοποίηση σε κυλινδρικά δέματα βάρους 250 kg ή παραλληλεπίπεδου σχήματος δέματα βάρους 450 kg. Η αποθήκευση μπορεί να γίνει είτε στον αγρό όπου όμως απαιτείται κάλυψη των δεμάτων με πλαστικά φύλλα για προστασία από βροχή, είτε τα δέματα μεταφέρονται σε κάποιο αποθηκευτικό χώρο.

Στην πρώτη μέθοδο βασικό πλεονέκτημα είναι οι μειωμένες απώλειες και η σχετικά μικρή υποβάθμιση της θερμογόνου δύναμης της βιομάζας και στη δεύτερη μέθοδο η μικρές ενεργειακές εισροές που απαιτούνται για ξήρανση.

Στην ΕΕ δοκιμάζονται δυο νέες πρωτότυπες μηχανές συγκομιδής ινώδους σόργου. Στη πρώτη περίπτωση, συγχρόνως με το θερισμό των φυτών γίνεται συμπίεση της βιομάζας και στη συνέχεια τα φυτικά υπολείμματα

παραμένουν στον αγρό ώστε να γίνει δεματοποίησή τους μετά την φυσική ξήρανση (Biomatnet, 1997). Η δεύτερη περίπτωση αφορά μηχανή συγκομιδής η οποία συγχρόνως μετατρέπει την ξηρή βιομάζα σε pellets πυκνότητας 500 kg/m³. Με τον συγκεκριμένο τρόπο συγκομιδής απαλείφεται το κόστος δεματοποίησης και μειώνεται το κόστος μεταφοράς σε σχέση με τη μεταφορά δεμάτων (Barbucci et al., 1994).

11. Προσαρμοστικότητα-Παραγωγικότητα- Αποδόσεις

Το γλυκό σόργο προσαρμόζεται σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών. Λόγω της καταγωγής του από τροπικές περιοχές είναι ανεκτικό στη έλλειψη νερού, ενώ παράλληλα απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες 9-10 °C για τη βλάστηση των σπερμάτων και 27-30 °C για αύξηση (Dalianis, *et al.*, 1996), με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται με ιδιαίτερη επιτυχία σε περιοχές με ήπιο κλίμα, όπως χώρες της Ν. Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας.

Η ευρεία προσαρμοστικότητα του γλυκού σόργου μπορεί να αποδοθεί σε έναν αριθμό μορφολογικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών του φυτού. Έτσι, έχει την ικανότητα να παραμένει σε λήθαργο σε περιόδους ξηρασίας και να ανακτά την αύξηση όταν οι συνθήκες γίνουν πάλι ευνοϊκές (Dalianis, *et al.*, 1996). Τα φύλλα και ο βλαστός έχουν μια σχετικά μη διαπερατή επιδερμίδα που επιβραδύνει τις απώλειες νερού (Bassam, 1998).

Τα φυτά του γλυκού σόργου τα χαρακτηρίζει η ανεκτικότητα στην έλλειψη νερού και μπορούν να αναπτύσσουν ριζικό σύστημα σε βάθος 1m έως 1,5m ώστε να εκμεταλλευτούν την επάρκεια της εδαφικής εργασίας σε αυτά τα βάθη και να δώσει υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα (Arnon, 1972). Με τα παραπάνω συμφωνεί και ο Blum ο οποίος ασχολήθηκε με την φυσιολογική ανάπτυξη του σόργου και την επίδραση του νερού σε φυσιολογικές παραμέτρους του σόργου.

Επιπλέον το γλυκό σόργο έχει ένα ιδιαίτερα πλούσιο ριζικό σύστημα (μπορεί να φτάσει σε βάθος 1,5 m) ενώ είναι δυνατόν να αναπτυχθεί σε μεγάλο εύρος εδαφών, όπως αργιλώδη, πηλώδη, ασβεστολιθικά, εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία (Dalianis, *et al.* 1996, Martin 1941). Προσαρμόζεται σε μεγάλο σχετικά εύρος pH από 5,5 έως 8,5 όπως και έως ένα μεγάλο βαθμό σε υψηλή αλατότητα, αλκαλικότητα και περιορισμένη αποστράγγιση (Kangama *et al.*, 2005, Hayward & Bernstein, 1958). Η ανθεκτικότητα του φυτού στην αλκαλικότητα οφείλεται στις ταννίνες που περιέχονται στους σπόρους, οι οποίες μπορούν να μειώσουν τοπικά την αρνητική επίδραση της αλκαλικότητας στη βλάστησή τους (Guiying *et al.*, 2003).

Το οσμωτικό δυναμικό του κυτταρικού χυμού μπορεί να πάρει πολύ μικρές τιμές που επιτρέπει την απορρόφηση του νερού ακόμα και σε περιόδους χαμηλής εδαφικής υγρασίας. Έχει διαπιστωθεί ότι το γλυκό σόργο διαθέτει μηχανισμούς μείωσης του οσμωτικού δυναμικού σε περιόδους που το νερό είναι περιορισμένο, δηλαδή έχει την ικανότητα να κάνει ωσμωρύθμιση (Ackerson & Krieg 1977, Jones & Turner 1980, Ludlow *et al.*, 1990, Καραμάνος, 1999, Premachandra *et al.* 1995, Turner *et al.*, 1978).

Σύμφωνα με τον Turner τα στόματα κλείνουν όταν οι τιμές του υδατικού δυναμικού των φύλλων είναι μικρότερες από άλλα φυτά. Αυτό επιτρέπει στα φυτά να φωτοσυνθέτουν και στις περιπτώσεις που η εδαφική υγρασία είναι περιορισμένη.

Η προσαρμοστικότητα και η παραγωγικότητα των διαφόρων ποικιλιών του γλυκού σόργου έχει υπάρξει τα τελευταία χρόνια αντικείμενο μελέτης πολλών χωρών της Ε.Ε.. Οι αποδόσεις σε ξηρά ουσία κυμαίνονται ανάλογα με την περιοχή, την ποικιλία και τις καλλιεργητικές πρακτικές από 12 t/ha στο Βέλγιο, 35 t/ha στη Ν. Ισπανία, έως και 45 t/ha στη Ν. Ελλάδα και Ν. Ιταλία (Dalianis, 1996). Ανάμεσα στις υπό μελέτη ποικιλίες, η Keller έχει αποδειχτεί ως η πιο παραγωγική, συνδυάζοντας ευρεία προσαρμοστικότητα, σταθερότητα (από θέση σε θέση και από έτος σε έτος) και υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα και σάκχαρα (Alexoroulou *et al.* 2000, Νικολάου κ.ά. 2000, Dalianis *et al.* 1995).

Η παραγωγικότητα εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τις κλιματικές συνθήκες, τη γονιμότητα του εδάφους, την καλλιεργητική τεχνική και την ποικιλία. (LAMNET, 2006a). Στη γεωργική πράξη, η αύξηση των αποδόσεων πρέπει κυρίως να προέρχεται από τη βελτίωση της παραγωγικότητας ανά μονάδα νερού και εδάφους. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, η άρδευση φαίνεται να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων, ενώ η αζωτούχος λίπανση δεν φαίνεται να επηρεάζει καθοριστικά τις αποδόσεις (EECI, 1999, Foti *et al.*, 2004, ΚΑΠΕ, 2004).

Οι αποδόσεις του γλυκού σόργου κυμαίνονται μεταξύ 2,2-14 t/στρέμμα σε χλωρό βάρος και 1,2-4,5 t/στρέμμα σε ξηρή βιομάζα, με τυπικές παραγωγές 7-9 και 2-2,5 t/στρέμμα χλωρής και ξηρής βιομάζας, αντίστοιχα (Grassi *et al.*, 2004).

Για την Ευρώπη οι αποδόσεις του γλυκού σόργου είναι κατά μέσο όρο 9 t/στρέμμα σε χλωρή βιομάζα, 2,5 t/στρέμμα σε ξηρή βιομάζα και 900 kg/στρ. σε σάκχαρο (Moncada, 1994), ενώ στη Ν. Ευρώπη η μέση παραγωγή του γλυκού σόργου σε ξηρή βιομάζα είναι 3,5 τόνοι/στρέμμα (Diamantidis and Koukios, 2000). Σχετικά με τις ποικιλίες, οι πρώιμες είναι κατάλληλες για καλλιέργεια σε βορειότερες περιοχές (Γαλλία, Ν. Γερμανία) και οι όψιμες για τις χώρες τις Μεσογείου.

Πανευρωπαϊκά, οι μέγιστες παραγωγές γλυκού και ινώδους σόργου επιτυγχάνονται από ποικιλίες μεγάλου βιολογικού κύκλου στην Ελλάδα και τη Ν. Ιταλία και είναι της τάξης των 4 τόνων/στρέμμα σε ξηρή βιομάζα (BioMatNet, 2000).

Σύμφωνα με τους Diamantidis & Koukios (2000), η μέση απόδοση ξηρής βιομάζας του γλυκού σόργου στη Ν. Ευρώπη, από 3,5 t/στρέμμα το έτος 2000 αναμένεται να φτάσει στους 4,06 t/στρέμμα το 2020 και 4,38 t/στρέμμα το 2050.

Σχετικά με την μελλοντική καλλιέργεια του γλυκού και ινώδους σόργου στην Ελλάδα, τα αποτελέσματα των πειραματικών εργασιών δείχνουν ότι μπορούν να καλλιεργηθούν από τις βορειότερες μέχρι τις νοτιότερες περιοχές της χώρας, τόσο σε εύφορα όσο και σε υποβαθμισμένα εδάφη (ΚΑΠΕ, 2004). Οι αποδόσεις είναι εξαιρετικά υψηλές και μπορούν να φτάσουν τους

14,1 t/στρέμμα σε χλωρό βάρος, τους 4,5 t/στρέμμα σε ξηρή βιομάζα (Dalianis *et al.*, 1994b, Υπουργείο Γεωργίας, 2000, EUBIONET, 2003, ΚΑΠΕ, 2004, Makridis *et al.*, 2004) και τους 1,45 t/στρέμμα σε σάκχαρα (Claassen *et al.*, 2004).

Από τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα στη χώρα μας, το 85-90% του συνολικού χλωρού βάρους της καλλιέργειας του γλυκού σόργου αποτελείται από τα στελέχη, με τα σάκχαρα να αντιπροσωπεύουν το 10-13% του χλωρού βάρους των στελεχών (Dalianis *et al.*, 1994a, Dalianis *et al.*, 1994b, Υπουργείο Ανάπτυξης, 2004). Οι στρεμματικές αποδόσεις σε αιθανόλη είναι 650-800 λίτρα με ζύμωση των σακχάρων, ενώ ξεπερνούν τα 1000 λίτρα όταν εφαρμόζεται μέθοδος ταυτόχρονης ζύμωσης (one-step) σακχάρων και κυτταρίνης, όταν οι αντίστοιχες μέγιστες στρεμματικές αποδόσεις από ζαχαρότευτλα, καλαμπόκι και σιτάρι είναι 500, 270 και 150 λίτρα αιθανόλης, αντίστοιχα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2004).

12. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

12.1 Χρήσεις της καλλιέργειας

Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί η παραγόμενη βιομάζα του γλυκού και ινώδους σόργου, απαιτείται κατάλληλη μετασυλλεκτική διαχείριση της πρώτης ύλης για τη μετατροπή σε ενεργειακά και άλλα προϊόντα.

12.1.1 Χρήσεις του γλυκού σόργου

Το γλυκό σόργο χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της, μέσω ζύμωσης των σακχάρων που περιέχονται στο φυτικό χυμό του. Ο σακχαρούχος χυμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πρώτη ύλη για παραγωγή κρυσταλλικής ζάχαρης (Woods, 2001, Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Kangama & Rumei, 2005b). Επίσης, το γλυκό σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιο-υδρογόνου (Claassen *et al.*, 2004).

Τα υπολείμματα που παράγονται μετά την εξαγωγή του χυμού από τα στελέχη αποτελούν πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας με καύση, πυρόλυση ή αεριοποίηση (Jannssens *et al.*, 1994) δίνοντας στερεά καύσιμα (pellets), πυρολυτικά έλαια, βιοαέριο και μεθανόλη (Buxton *et al.*, 1999, BioMatNet, 2000) ή για παραγωγή αιθανόλης μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων υπολειμμάτων σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης (Mc Bee *et al.*, 2004, Faaij, 2006).

Η μεγάλη ποσότητα και η υψηλή θερμογόνος δύναμη των υπολειμμάτων μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες τόσο της φυτικής παραγωγής όσο και της μετατροπής του γλυκού σόργου σε αλκοόλη (ΚΑΠΕ, 2004).

Τα υποπροϊόντα της καλλιέργειας και της παραγωγής αιθανόλης, δηλαδή ο καρπός, τα φύλλα, οι ρίζες και τα υπολείμματα της ζύμωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς εκτός από ενεργειακούς. Από τις ρίζες, τα φύλλα και τα υπολείμματα μπορεί να παραχθεί οργανικό λίπασμα με κομποστοποίηση (Negro *et al.*, 1999, Grassi *et al.*, 2004, Kangama & Rumei, 2005a, Chiaramonti *et al.*, 2006, Grassi *et al.*, 2006). Οι καρποί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απευθείας τροφή ή ζωοτροφή, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης, τα υπολείμματα της απόσταξης (DDG, distilled dried grains) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή διατροφικών συμπληρωμάτων φυτικών πρωτεϊνών (Chiaramonti *et al.*, 2002, European Commission, 2003b, Kangama & Rumei, 2005a, Chiaramonti *et al.*, 2006).

Σχετικά με τη χρήση των λιγνοκυτταρινούχων υπολειμμάτων από την παραγωγή αιθανόλης, αυτά εκτός από οργανικό λίπασμα ή παραγωγή ενέργειας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για βιομηχανική παραγωγή χαρτοπολτού (Rajvanshi & Nimbkar, 2001, BFAP, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Chiaramonti *et al.*, 2006), οικοδομικών υλικών, ενεργού άνθρακα (Grassi *et al.*, 2006) και ξυλιτόλης που χρησιμοποιείται ως γλυκαντικό (Qiabi *et al.*, 1994)

12.1.2 Χρήσεις του ινώδους σόργου

Η παραγόμενη βιομάζα από το ινώδες σόργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας με καύση ή αεριοποίηση (Amaducci *et al.*, 2004), παραγωγή στερεών καυσίμων (κυρίως pellets) για θέρμανση (EECI, 1999c, Monti & Venturi, 2003) ή βιο-υδρογόνου (Grassi & Vasen, 2004).

Μια ενδιαφέρουσα ενεργειακή εφαρμογή είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με καύση της παραγόμενης βιομάζας (BioMatNet, 2000, Monti & Venturi, 2003). Υπάρχει επίσης αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή

βιοαιθανόλης από το φυτό, μέσω υδρόλυσης των κυτταρινούχων συστατικών του σε σάκχαρα και αλκοολικής ζύμωσης (EECI, 1999c, Υπουργείο Γεωργίας, 2000).

Τέλος το ινώδες σόργο μπορεί να αποτελέσει μια καλή λύση για την αντικατάσταση των δασικών πρώτων υλών στην χαρτοβιομηχανία (EECI, 1999c, EECI, 2000j, Amaducci *et al.*, 2004, Berenji & Dahlberg, 2004) καθώς και για παραγωγή οικοδομικών υλικών (EECI, 1999c, Amaducci *et al.*, 2004), ενώ μια εναλλακτική βιομηχανική χρήση του είναι η παραγωγή ξυλιτόλης (Qiabi *et al.*, 1994).

12.2 Παραγωγή μη ενεργειακών προϊόντων

12.2.1 Παραγωγή ζάχαρης

Η παραγωγή ζάχαρης γίνεται από το σακχαρούχο χυμό του γλυκού σόργου. Η σύσταση των σακχάρων του χυμού τυπικά είναι 85% σακχαρόζη, 9% γλυκόζη και 6% φρουκτόζη. Κρυσταλλική ζάχαρη μπορεί να παραχθεί μόνο από τη σακχαρόζη (Gnansounou *et al.*, 2005). Για το λόγω αυτό πρέπει ο χυμός να περιέχει υψηλό ποσοστό σακχαρόζης επί του συνόλου των διαλυτών σακχάρων. Γενικά ο χυμός πρέπει να έχει περιεκτικότητα τουλάχιστον 9% σε σακχαρόζη και τουλάχιστον το 75% του συνόλου των διαλυτών σακχάρων του χυμού (Brix) να αποτελείται από σακχαρόζη (Woods, 2001). Εάν δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις σχετικά με την ποιότητα του σακχαρούχου χυμού, η παραγωγή κρυσταλλικής ζάχαρης από γλυκό σόργο είναι αντιοικονομική σε βιομηχανική κλίμακα. Ως κατάλληλες ποικιλίες για παραγωγή ζάχαρης αναφέρονται οι Keller, Wray και Cowley (Beijing Green Energy Institute, 2005).

Το πρώτο στάδιο της παραγωγής κρυσταλλικής ζάχαρης από το γλυκό σόργο περιλαμβάνει την εξαγωγή του φυτικού χυμού από τα στελέχη και η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο. Η διαδικασία

παραγωγής ζάχαρης από το σακχαρούχο χυμό, όπως αυτή περιγράφεται από τους Kangama & Rumei (2005b) και Gnansounou *et al.*, (2005) αποτελείται από τρία στάδια (σχήμα 10.1). Αρχικά γίνεται καθαρισμός του χυμού κατά την οποία γίνεται ασβέστωση (προσθήκη ασβεστούχου γαλακτώματος) και προσθήκη CO₂ και ακολουθεί διήθηση (φιλτράρισμα ιζήματος ανθρακικού ασβεστίου). Στο επόμενο στάδιο γίνεται συμπύκνωση του χυμού μέσω εξάτμισης, ο οποίος από 15% περιεκτικότητας σε σάκχαρα συμπυκνώνεται μέχρι συγκεντρώσεως 70% σε σάκχαρα. Κατά το τελευταίο στάδιο γίνεται υπερκορεσμός του πυκνού διαλύματος και κρυστάλλωση υπό κενό (*vacuum*). Η κρυσταλλική ζάχαρη λαμβάνεται με φυγοκέντρωση και ξήρανση ενώ παράγεται συγχρόνως και πυκνό σιρόπι το οποίο κρυσταλλώνεται περεταίρω. Τελικά παράγεται εκτός από ζάχαρη και μελάσα που αποθηκεύεται για άλλες χρήσεις.

Η παραπάνω μέθοδος παραγωγής κρυσταλλικής ζάχαρης από το γλυκό σόργο έχει τελική απόδοση 76% και παράγονται 109 kg ζάχαρης ανά τόνο σακχαρούχου χυμού.

Ο μεταβολισμός της σακχαρόζης στον γλυκό σόργο κατά την διάρκεια ανάπτυξης ερευνήθηκε απ' τους Lingle and Dunlap, 1987. Στην έρευνα αυτή έγινε ταυτοποίηση των ενζύμων που ήταν υπεύθυνα για την συσσώρευση της σακχαρόζης στο σόργο. Τα τέσσερα ένζυμα του μεταβολισμού της σακχαρόζης, μαζί με τα σάκχαρα, εκχειλίστηκαν αρχικά από ολόκληρα φυτά κι εν συνεχεία από ξεχωριστά μεσογονάτια των πρωταρχικών φυτών, σε μεσοδιαστήματα της αναπαραγωγικής ανάπτυξης. Παρατηρήθηκε ότι στα ολόκληρα φυτά, η συγκέντρωση της σακχαρόζης ανέβηκε κατά επτά φορές ανάμεσα στα στάδια της ενάρξεως της μεταφοράς σακχάρων απ' τον καρπό μέχρι το γέμισμα των σπερμάτων. Παράλληλα, η αύξηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ενεργότητας της υδατοδιαλυτής όξινης ιμπερτάσης και της συνθετάσης της σακχαρόζης. μεσογονάτια διαστήματα, ενώ δεν υπήρχε σχεδόν καθόλου συγκέντρωση σακχαρόζης.

Στη συνέχεια της ανάπτυξης, τα επόμενα δυο μεσογονάτια απ' τα προαναφερθέντα, παρουσίασαν πολύ γρήγορα συσσώρευση σακχαρόζης. Στο στάδιο της άνθησης, τα έξι μεσογονάτια που βρίσκονται πιο ψηλά στο

φυτό, είχαν σχεδόν ίδιες ενεργότητες, με κριτήριο το νωπό βάρος όλων των ενζύμων που συζητήθηκαν. Τέλος, η αρχή για την συγκέντρωση της σακχαρόζης στο σόργο συνδυάστηκε με την αρχή για την αναπαραγωγική φάση της ανάπτυξης δεν συσχετίστηκε με την ενεργότητα κάποιου ενζύμου.

Ο μεταβολισμός της σακχαρόζης στα άθικτα στελέχη σόργου ώστε να βρεθεί κατά πόσο είναι αναγκαίο να περάσει από αναστροφή και ισομερισμό των φωσφορικών εξοζών, για ν' αποθηκευτεί στα κύτταρα του βλαστού μελετήθηκε απ' τους Tarpley *et al.*, (1996). Στην μελέτη αυτή εμποτίστηκαν οι βλαστοί του σόργου δύο φορές με [U-14C] σακχαρόζη και [1-φρουκτόζη 3H(N)] σακχαρόζη, σε διάφορες φάσεις της συσσώρευσης της σακχαρόζης, ενώ οι διαλυμένες ουσίες, στο εκχύλισμα των κυττάρων, απομονώθηκαν με ενζυματική μετατροπή και ανταλλαγή ιόντων απ' τα προϊόντα των αντιδράσεων κι έτσι το τμήμα των εξοζών της σακχαρόζης αναλύθηκε ξεχωριστά. Στην μελέτη βρέθηκε ότι το 95 % του άνθρακα που επαναδεσμεύεται, βρέθηκε στη σακχαρόζη, ενώ στη σακχαρόζη το 46 % του 14C και το 77 % του 3H βρέθηκε στο τμήμα της φρουκτόζης. Έτσι εξήχθη το συμπέρασμα ότι η σημαντική κατακράτηση της ασυμμετρίας στη σήμανση με τρίτιο της σακχαρόζης, υποδηλώνει ότι ένας κύκλος διάσπασης κι επανασύνθεσης δεν κυριαρχούσε στην συσσώρευση της σακχαρόζης στα κύτταρα του βλαστού του σόργου.

Ο ενζυμικός έλεγχος των μη δομικών υδατανθράκων στα στελέχη και στη φόβη του σόργου, σε πέντε διαφορετικούς τύπους σόργου ερευνήθηκε πάλι απ' τους Tarpley *et al.*, (1994). Στις συγκεκριμένες έρευνες υπολογίστηκαν οι ενεργότητες των υδατοδιαλυτών ενζύμων, που αποικοδομούν τη σακχαρόζη και τις συνδύασαν με τη συγκέντρωση της σακχαρόζης, στο βλαστό του φυτού. Διαπιστώθηκε πως οι ενεργότητες ήταν χαμηλότερες στο στέλεχος σε σχέση με τη φόβη, κατά την διάρκεια ανάπτυξης της ταξιανθίας, ενώ οι ενεργότητες της ιμπερτάσης βρίσκονταν υψηλότερα στην φόβη, κατά την διάρκεια της ανάπτυξης των κόκκων, σε σχέση με το στέλεχος κατά την διάρκεια της συσσώρευσης της σακχαρόζης. Έτσι, υπέθεσαν πως η ιμπερτάση της φόβης υδρολύει τη σακχαρόζη πριν την εισαγωγή στο ενδόσπερμα, εν αντιθέσει με τις ενεργότητες της ιμπερτάσης και

της συνθετάσης της σακχαρόζης που ήταν χαμηλές κατά την συσσώρευση της σακχαρόζης στο στέλεχος. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι σε μια άλλη έρευνα φάνηκε απ' τα αποτελέσματα ότι η ενεργότητα ελέγχεται από προμεταφραστικό έλεγχο.

12.2.2 Παραγωγή χαρτιού και ξυλιτόλης

Το ινώδες σόργο καθώς και τα υπολείμματα αποχύμωσης του γλυκού σόργου αποτελούν πρώτη ύλη για την παραγωγή πολύ καλής ποιότητας χαρτιού. Ο χαρτοπολτός παράγεται από την ινώδη κυτταρινούχο βιομάζα κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας.

Η απόδοση σε χαρτοπολτό είναι μεγαλύτερη από ινώδες σόργο σε σχέση με αυτή από υπολείμματα και πριν την παραγωγή του τελικού προϊόντος γίνεται λεύκανση του χαρτοπολτού με χημικές ή ενζυμικές μεθόδους (Belayachi & Delmas, 1997).

Σχετικά με τα υπολείμματα ότι η καλύτερη ποιότητα χαρτιού παράγεται από μίγμα χαρτοπολτών της αποχύμωσης, η καλύτερη ποιότητα χαρτιού παράγεται από μίγμα 30% χαρτοπολτού υπολειμμάτων γλυκού σόργου και 70% χαρτοπολτού από φλοιό δημητριακών (Beijing Green Energy Institute, 2005).

Στο ινώδες σόργο πριν από την παραγωγή του χαρτοπολτού είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των κυτταρινούχων ινών από την εντεριώνη του φυτού (Qiabi *et al.*, 1994, Belayachi & Delmas, 1997). Από την εντεριώνη, η οποία αποτελείται από ημικυτταρίνη, μπορεί μέσω όξινης υδρόλυσης με θειικό ή υδροχλωρικό οξύ να γίνει παραγωγή ξυλόζης, η οποία αποτελεί πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία αλλά και πρώτη ύλη για παραγωγή ξυλιτόλης που χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο ζάχαρης (Qiabi *et al.*, 1994).

12.2.3 Παραγωγή οργανικού λιπάσματος

Μια εναλλακτική χρήση των υπολειμμάτων της αποχύμωσης του γλυκού σόργου είναι η χρήση τους για παρασκευή οργανικού λιπάσματος (χούμου) και χρησιμοποίησή για την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

Τα υπολείμματα έχουν υψηλή αναλογία C/N, περίπου 90, δηλαδή είναι πλούσια σε οργανικό C αλλά πολύ φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία (Negro *et al.*, 1999). Η απευθείας διάθεση των υπολειμμάτων στον αγρό δεν συνίσταται λόγω του κινδύνου πρόκλησης φυτοτοξικότητας και ακινητοποίησης του εδαφικού αζώτου (Negro *et al.*, 1999). Φυτοτοξικές ουσίες δημιουργούνται μέσω του μικροβιακού μεταβολισμού κυρίως σε αναερόβιες συνθήκες εδάφους (Negro *et al.*, 1999). Για τους παραπάνω λόγους η απαιτείται κομποστοποίηση των υπολειμμάτων με λυματολάσπη από βιολογικούς καθαρισμούς ή με κόπρανά ζώων, τα οποία είναι πλούσια σε άζωτο και άλλα θρεπτικά στοιχεία. Τα παραγόμενα μίγματα αποτελούν πολύ καλής ποιότητας οργανικά λιπάσματα (Negro *et al.*, 1999).

12.3 Παραγωγή ενεργειακών προϊόντων.

12.3.1 Παραγωγή βιοκαυσίμων από γλυκό σόργο.

Πέρα από όλες τις άλλες χρήσεις του, σήμερα το γλυκό σόργο τυγχάνει ιδιαίτερης προσοχής ως εναλλακτική πρώτη ύλη, στον τομέα της ενέργειας αλλά και της βιομηχανίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το φυτό αυτό παρουσιάζει υψηλή απόδοση σε βιομάζα καθώς και μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα.

Η ενεργειακή του αξιοποίηση μπορεί να επιτευχθεί μέσω θερμοχημικών και βιοχημικών μεθόδων επεξεργασίας. Έτσι, με καύση ή με αεριοποίηση μπορεί να υποστεί επεξεργασία το στερεό υπόλειμμα (*bagasse*) που προκύπτει από τη συμπίεση του γλυκού σόργου, κατά την διεργασία παραγωγής συμπυκνωμένου χυμού (εκχύμωσης) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας και ενέργειας (Bassam, 1998). Από το πλούσιο σε λιγνοκυτταρινούχο υλικό, υπόλειμμα, μπορούν επιπλέον να εξαχθούν: πολτός για την παρασκευή χαρτιού, εδαφοβελτιωτικό (*compost*) και άλλα σύνθετα υλικά (Claassen, 2004).

Βιοχημικά, το γλυκό σόργο μπορεί να υποστεί επεξεργασία είτε μέσω ζύμωσης των διαλυτών σακχάρων προς αιθανόλη (FAO, 2002) ή προς υδρογόνο (Claassen, 2004), ή είτε μέσω αναερόβιας χώνευσης της βιομάζας του φυτού (Jerger et al., 1987; Richards et al., 1991; Chynoweth et al., 1993) ή του στερεού υπολείμματος της διεργασίας της εκχύμωσης – εκχύλισης του φυτού.

Στην Κίνα, το γλυκό σόργο θεωρείται πολλά υποσχόμενο ενεργειακό φυτό, για την παραγωγή αιθανόλης (Grassi et al., 2002), καθώς καλλιεργείται σε εκτάσεις 1 εκατομμυρίου εκταρίων με απόδοση 4 εκατομμύρια τόνους βιομάζας. Το 1997 διοργανώθηκε στο Πεκίνο το «Πρώτο Διεθνές Συνέδριο για

το Γλυκό Σόργο» (Li, 1997), στο οποίο επισημάνθηκε η μεγάλη χρησιμότητα του φυτού στον τομέα της βιομηχανίας και της ενέργειας.

Επιπλέον, οι Rains et al. (1993) πραγματοποίησαν μια τεχνοοικονομική μελέτη για την παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο για μια υποθετική μονάδα, κατασκευασμένη στο Piedmont των Ηνωμένων Πολιτειών. Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των Maxey et al. (1989) και Worley και Cundiff (1992b), η καλλιέργεια του γλυκού σόργου θα απέδιδε στους αγρότες της περιοχής περίπου 490 \$/ ha καλλιέργειας. Επιπλέον, το συνολικό κόστος για την παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο κυμαινόταν από 0.359–0.605 \$. Με δεδομένο ότι η τιμή πώλησης της αιθανόλης το 1992 ήταν 0.3-0.35 \$ / L, (Oxyfuel News, 1992), η διεργασία παραγωγής αιθανόλης απεδείχθη οικονομικά μη συμφέρουσα, στη συγκεκριμένη περιοχή.

Στην Ινδία, έχει ήδη κατασκευαστεί πιλοτική μονάδα παραγωγής αιθανόλης από γλυκό σόργο, από τον μη – κερδοσκοπικό οργανισμό NARI (Nimbkar Agricultural Research Institute). Πρόκειται, για ηλιακή μονάδα απόσταξης, αποτελούμενη από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες επιφάνειας 38 m², οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με δεξαμενή ζεστού νερού, χωρητικότητας 2150 L. Η μονάδα λειτούργησε για περίπου 4000 ώρες, παράγοντας 30-40 L (95% κ.ο.) αιθανόλης / d (Rajvanshi, 1989). Περίπου το 70% της συνολικής ετήσιας παροχής θερμότητας για απόσταξη, προήλθε από ανανεώσιμη ηλιακή ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο από ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνοοικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για 10000L αιθανόλη (95% κ.ο.) / d, έδειξε πως το κόστος παραγωγής αιθανόλης από τα στελέχη του γλυκού σόργου ήταν \$0.30 / L. ([www.nariphaltan. Virtualave .net/sorghum .htm](http://www.nariphaltan.Virtualave.net/sorghum.htm)).

12.3.2 Παραγωγή αιθανόλης

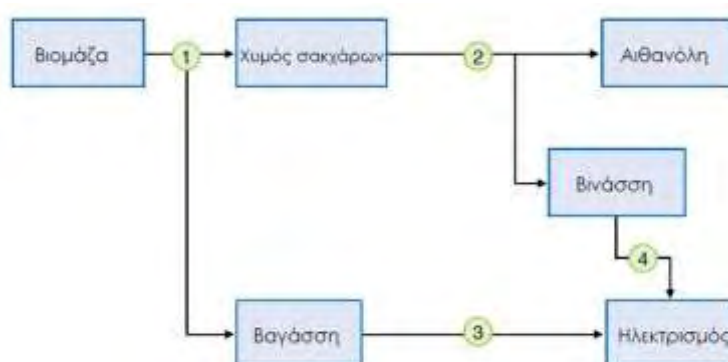
Η κύρια χρήση του γλυκού σόργου είναι η παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση του σακχαρούχου χυμού των στελεχών. Η τελική απόδοση της καλλιέργειας σε αιθανόλη εξαρτάται από την ποικιλία, τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στην καλλιεργητική πρακτική, τη μέθοδο μετατροπής και το είδος των χρησιμοποιούμενων ζυμών (Nan & Ma, 1989, Βουρδουμπάς, 1999).

Σήμερα οι ποικιλίες γλυκού σόργου μας δίνουν κυρίως βιομάζα και σάκχαρα, ενώ οι δυνατότητές του ως καρποδοτικό φυτό δεν έχουν ακόμα αξιολογηθεί. Πολλές έρευνες στοχεύουν στην άρση του περιορισμού αυτού, μέσω της επιλογής υβριδίων που παρουσιάζουν μεγάλες αποδόσεις σε βιομάζα, σάκχαρα και σπόρο ταυτόχρονα. Με δεδομένο ότι οι έρευνες δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί, το μοντέλο για την επεξεργασία του γλυκού σόργου προβλέπει προς το παρόν την αξιοποίηση των σακχάρων και της λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας.

Τα τμήματα αυτής της γραμμής παραγωγής βιοαιθανόλης είναι: το τμήμα σύνθλιψης των στελεχών του γλυκού σόργου και εξαγωγής του χυμού, το τμήμα συμπύκνωσης του χυμού για την αποθήκευση του, το τμήμα ζύμωσης, τα τμήματα απόσταξης και ανόρθωσης και, τέλος, το τμήμα αφυδάτωσης.

Σύμφωνα με τη διάταξη στο σχήμα 1, η βιομάζα από γλυκό σόργο συνθλίβεται και ο χυμός που περιέχει τα σάκχαρα υπόκειται σε επεξεργασία για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Η βαγάσση, που είναι το λιγνοκυτταρινούχο υπόλειμμα και λαμβάνεται από τη μονάδα σύνθλιψης του γλυκού σόργου, αποξηραίνεται και καίγεται σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.



Σχήμα 1.

Η βινάσση, που είναι το υγρό υπόλειμμα της μονάδας απόσταξης και ανόρθωσης, αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης μαζί με άλλα υποστρώματα, όπως για παράδειγμα

κοπριά, ως μικροβιακό εμβόλιο. Το βιοαέριο που λαμβάνεται εξυγιαίνεται και καίγεται σε μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Παρόλο που το γλυκό σόργο είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στην ξηρασία, ιδιαίτερα στο μεσογειακό κλίμα (π.χ. της νότιας Ιταλίας, της Ισπανίας και της Ελλάδας) η καλλιέργεια του χωρίς άρδευση δεν συνίσταται, διότι οι αποδόσεις σε βιομάζα είναι πολύ χαμηλές. Σε πιλοτική καλλιέργεια που πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του ΤΕΙ της Θεσσαλονίκης από την ομάδα του Δρ. Γεωπόνου Δήμα Κίτσιου, καλλιεργήθηκαν τέσσερις ποικιλίες γλυκού σόργου με άρδευση 120 mm και 210mm σε εδάφη με αυξημένη αλατότητα (3.2 και 6,9 dS/m). Η ποικιλία με την μεγαλύτερη απόδοση σε βιομάζα ήταν η “Urja” (Πίνακας 3) σε συνθήκες άρδευσης 210mm και αλατότητας 3.2 dS/m.

Φρέσκια βιομάζα (τόνοι/στρέμμα)	Ξηρή βιομάζα (τόνοι/στρέ μμα)	Χυμός γλυκού σόργου (τόνοι/στρέμμα)	RIX ⁰	I σάκχαρα (τόνοι/στρέ μμα)	Ολικά σάκχαρα (τόνοι/στρέ μμα)	Θεωρητικ ή αιθανόλη (λίτρα/στ ρέμμα)
9,73	33,5	3,4	4,4	1	3,86	762

Πίνακας 3: Αποδόσεις γλυκού σόργου σε περιοχή της Κ.Μακεδονίας, Ελλάδα.

Σχετικά με την απόσταση της μονάδας επεξεργασίας από τα καλλιεργούμενα εδάφη, γίνονται διάφορες εκτιμήσεις. Μερικά από τα κύρια στοιχεία αποτελούν: η επίδραση της μεταφοράς της πρώτης ύλης στο ενεργειακό ισοζύγιο της αλυσίδας, ο σεβασμός συγκεκριμένων περιορισμών που δύναται να υπάρχουν, η διαθέσιμη τεχνική υποστήριξη (αριθμός γεωργικών μηχανημάτων), ο επιθυμητός χρόνος εφοδιασμού, κ.ά. Προκειμένου να δώσουμε κάποια ενδεικτικά στοιχεία για την ακτίνα της ζώνης εφοδιασμού και των επιπτώσεων της, στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες δύο σεναρίων απόστασης 15 χλμ και 20 χλμ από την μονάδα επεξεργασίας.

37.000-38.000 στρέμματα καλλιέργειας γλυκού σόργου		
Μέγιστη ακτίνα	Συγκομιδή σε 40 ημέρες	Γεωργικά μηχανήματα
15 χλμ	4 παράλληλα συγκροτήματα συγκομιδής	4 θεριστικές-ενσιρωκοπτικές μηχανές 24 γεωργικοί ελκυστήρες
20 χλμ	6 παράλληλα συγκροτήματα συγκομιδής	6 θεριστικές-ενσιρωκοπτικές μηχανές 24 γεωργικοί ελκυστήρες

Πίνακας 4.

Στην Ελλάδα, δεν έχει ξεκινήσει ακόμα η παραγωγή βιοαιθανόλης καθώς δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο αναμένεται να γίνει εντός του 2012. Υπάρχει εντούτοις ενδιαφέρον και από μεριάς επενδυτών οι οποίοι ήδη εξετάζουν την περίπτωση του γλυκού σόργου. Τα πλεονεκτήματα του γλυκού σόργου είναι ότι η καλλιέργεια του είναι όμοια με αυτή του καλαμποκιού ενώ η επεξεργασία του για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι παρόμοια με αυτή του ζαχαροκάλαμου οπότε και η τεχνολογία είναι ήδη γνωστή και ανεπτυγμένη. Επιπρόσθετα η επεξεργασία του παράγει δυο κύρια υποπροϊόντα τη βαγάσση και την βινάσση, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακούς σκοπούς και το εργοστάσιο να έχει επιπλέον έσοδα πέραν της πώλησης του βιοκαυσίμου. Στα κυριότερα μειονεκτήματα του γλυκού σόργου συμπεριλαμβάνεται η μικρής χρονικής διάρκειας αντοχής των σακχάρων που βρίσκονται στα στελέχη του φυτού μετά την συγκομιδής του, που πρέπει να οδηγηθούν άμεσα προς επεξεργασία και η εξάντληση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους για την αντιμετώπιση του οποίου συστήνεται η καλλιέργεια κάποιου ψυχανθές για ένα έτος μετά την συνεχόμενη διετή καλλιέργεια του γλυκού σόργου.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, αλλά σε βιομηχανική κλίμακα βρίσκεται προς το παρόν σε πιλοτικό στάδιο. Στην περίπτωση που επαληθευτεί η οικονομικότητα της παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, θα γίνει ιδιαίτερα ελκυστική η βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από ινώδες σόργο και από τα υπολείμματα αποχύμωσης του γλυκού σόργου.

Το πρώτο στάδιο της παραγωγής αιθανόλης από το σακχαρούχο χυμό των στελεχών του γλυκού σόργου περιλαμβάνει την εξαγωγή του φυτικού χυμού από τα στελέχη δηλαδή γίνεται διαχωρισμός του σακχαρούχου από το κυτταρινούχο τμήμα της πρώτης ύλης.

Η εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού γίνεται συνήθως μηχανικά με πίεση. Αρχικά τα στελέχη λεπτοτεμαχίζονται και το αλεσμένο προϊόν οδηγείται σε ένα σύστημα περιστρεφόμενων κυλίνδρων, όπου γίνεται αποχύμωση και με την προσθήκη νερού γίνεται έκπλυση και συλλογή του υδατικού σακχαρούχου διαλύματος. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο παραλαμβάνεται το 87% των σακχάρων από τα στελέχη (Gnansounou *et al.*, 2005). Μετά την εξαγωγή του χυμού απαιτείται άμεση επεξεργασία, ενώ σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται ψύξη για τη συντήρησή του (Mays *et al.*, 1997).

Στο επόμενο στάδιο ακολουθεί η ζύμωση του σακχαρούχου υδατικού διαλύματος. Η διαδικασία της αλκοολικής ζύμωσης είναι σταδιακή και χρησιμοποιείται μια διάταξη διαδοχικών δεξαμενών ζύμωσης και μίας τελικής δεξαμενής (ουδέτερη). Στην πρώτη δεξαμενή ζύμωσης (ζυμωτήρας) η συγκέντρωση αλκοόλης φτάνει το 6-7 % (κατ' όγκο) ενώ στον τελευταίο ζυμωτήρα η συγκέντρωση φτάνει στο 91 % (κατ' όγκο) (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a).

Κατά τη ζύμωση των σακχάρων το pH πρέπει να είναι 4-5 (Βουρδουμπάς, 1999) και η θερμοκρασία 33-35 °C (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Kangama & Rumei, 2005b). Η ανάπτυξη των ζυμών ελέγχεται με παροχή οξυγόνου στους ζυμωτήρες ενώ συγχρόνως παρέχονται φώσφορος (φωσφορικό οξύ) και άζωτο ως θρεπτικά συστατικά (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005b). Για τη ζύμωση

χρησιμοποιούνται συνήθως διάφορα στελέχη του *Saccharomyces cerevisiae* (Gibbons *et al.*, 1986, Christakopoulos *et al.*, 1993, Rajvanshi & Nimbkar, 2001).

Στο τελικό προϊόν της ζύμωσης εκτός από αλκοόλη περιέχονται και αδιάλυτα συστατικά καθώς και η βιομάζα του μικροοργανισμού. Έτσι είναι αναγκαίος ο καθαρισμός με φυγοκέντρηση ή διήθηση. Αφού γίνει ο καθαρισμός με φυγοκέντρηση το υγρό οδηγείται στην τελική δεξαμενή και γίνεται η διαχωρισμός και ανάκτηση της καθαρής αιθανόλης.

Ανάλογα με το σκοπό, η αιθανόλη ως τελικό προϊόν μπορεί να είναι ένυδρη (95% v/v) ή άνυδρη (99,5% v/v). Η διαδικασία παραλαβής της αιθανόλης είναι το τελευταίο στάδιο παραγωγής και περιλαμβάνει απόσταξη και αφυδάτωση με εφαρμογή θερμικής ενέργειας (Gnansounou *et al.*, 2005). Το τελευταίο αυτό στάδιο είναι από τα πλέον ενεργοβόρα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και αποτελεί κρίσιμο ανασταλτικό παράγοντα στην εμπορική ανάπτυξη της παραγωγής βιοαιθανόλης (Λόης και Αναστασόπουλος, 2006). Γίνονται προσπάθειες ανάπτυξης μονάδων απόσταξης που να τροφοδοτούνται από ηλιακούς συλλέκτες (Rajvanshi & Nimbkar, 2001).

Η παραπάνω μέθοδος παραγωγής αιθανόλης από το γλυκό σόργο έχει τελική απόδοση 94% (Gnansounou *et al.*, 2005) και παράγονται 87 λίτρα άνυδρης αιθανόλης ανά τόνο σακχαρούχου χυμού (Gnansounou *et al.*, 2005, Kangama & Rumei, 2005a, Kangama & Rumei, 2005b). Στην περίπτωση που δεν λάβει χώρα η αφυδάτωση, το τελικό προϊόν της απόσταξης είναι αιθανόλη 95% (Wereko-Brobby & Hagen, 1996).

Τα απόβλητα της ζύμωσης και της απόσταξης έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και είναι δύσκολα επεξεργάσιμα (Ρουκάς, 1992, Βουρδουμπάς, 1999). Η επεξεργασία τους με φυσικές, χημικές και βιολογικές μεθόδους (Ρουκάς, 1992). Στη Βραζιλία έχουν υιοθετηθεί δύο πρακτικές για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της βιομηχανικής παραγωγής αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο. Η πρώτη μέθοδος αφορά τη συλλογή των αποβλήτων σε δεξαμενές και εξάτμιση του νερού. Κατά τη δεύτερη πρακτική γίνεται

διασπορά τους με ψεκασμό σε καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου (Βουρδουμπάς, 1999).

Σχετικά με την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, βασίζεται στην αξιοποίηση των πολυσακχαριτών που περιέχονται στην πρώτη ύλη, δηλαδή της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Επειδή δεν είναι δυνατή η απευθείας ζύμωση των πολυσακχαριτών, πρέπει να γίνει διάσπασή τους σε απλά σάκχαρα.

Το πρώτο στάδιο της παραγωγής περιλαμβάνει υδρόλυση της κυτταρίνης με τη χρήση οξέος (πχ θειικό οξύ) ή ενζύμων και παραγωγή μίγματος γλυκόζης και ξυλόζης (ΕΛΚΕΠΑ, 1986, Wereko-Brobby & Hagen, 1996, Johansson *et al.*, 1998, Faaij, 2006). Στη συνέχεια τα σάκχαρα ζυμώνονται και παράγεται αιθανόλη.

Η λιγνίνη που μένει σαν υπόλειμμα της υδρόλυσης και είναι 20-30% της ολικής βιομάζας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με καύση ή πυρόλυση (ΕΛΚΕΠΑ, 1986, Kangama & Rumei, 2005a).

Η όξινη υδρόλυση της κυτταρίνης γίνεται υπό πίεση (ατμός, 10 atm) για 20-30 λεπτά ενώ η ενζυμική υδρόλυση γίνεται με ένζυμα (κυτταρινάσες) που παράγονται από μύκητες, βακτήρια και πρωτόζωα (Λόης & Αναστασόπουλος, 2006).

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη έρευνα για ανάπτυξη οικονομικών μεθόδων υδρόλυσης και εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα. Η μέθοδος υδρόλυσης με χρήση οξέων είναι ακριβή ενώ σχετικά με τη χρήση ενζύμων, η παραγωγή τους είναι επίσης ακριβή ενώ δεν έχει επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα σε βιομηχανικό επίπεδο (Faaij, 2006). Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι ο μύκητας *Richoderma reesi* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των περισσότερων ενζύμων που απαιτούνται (Mc Bee *et al.*, 2004).

Στην Ευρώπη ξεκίνησε το 2004 να λειτουργεί πιλοτικά στη Σουηδία μονάδα παραγωγής αιθανόλης από δασικά υπολείμματα, άχυρο και άλλα κυτταρινούχα υπολείμματα (ΚΑΠΕ, 2004), ενώ τέτοιες μονάδες ξεκίνησαν να λειτουργούν επίσης στην Ισπανία και τη Δανία (COM, 2006). Επίσης έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία ενζυμικής υδρόλυσης στον Καναδά (Voss,

2004) όπου και έχει ξεκινήσει βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από δασικά υπολείμματα και άχυρο (Mc Bee *et al.*, 2004).

Τέλος, έρευνα γίνεται και για την παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο με ταυτόχρονη ζύμωση (one-step) σακχάρων και κυτταρίνης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μίγματα καλλιεργειών μικροοργανισμών, όπως για παράδειγμα μίγμα *Fusarium oxysporum* και στελεχών *Saccharomyces cerevisiae* (Christakopoulos *et al.*, 1993). Αντίστοιχες προσπάθειες γίνονται και στη χώρα μας. Αναφέρεται ότι σύμφωνα με τα πρώτα αποτελέσματα, με την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου οι παραγωγή αλκοόλης από την καλλιέργεια του σόργου ανέρχεται σε 1000 λίτρα/στρ. όταν με απλή ζύμωση του σακχαρούχου χυμού αναμένονται αποδόσεις 650-800 λίτρα/στρ. (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2004).

12.3.3 Παραγωγή στερεών καυσίμων

Η κύρια χρήση του ινώδους σόργου είναι προς το παρόν για την παραγωγή στερεών καυσίμων. Στερεά καύσιμα μπορούν να παραχθούν και από τα υπολείμματα αποχύμωσης του γλυκού σόργου.

Όπως προαναφέρθηκε, το ινώδες σόργο μετά τη συγκομιδή δεματοποιείται και αποθηκεύεται. Η ξηρή βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για καύση και παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, είτε να μετατραπεί σε πελλέτες κατόπιν συμπίεσης. Η συμπιεσμένη αυτή μορφή είναι κατάλληλη για αποθήκευση, μεταφορά και ποικίλες χρήσεις όπως για ηλεκτροπαραγωγή μέσω καύσης ή αεριοποίησης, παραγωγή βιο-υδρογόνου με θερμοχημική μετατροπή καθώς και ως καύσιμο θέρμανσης.

Η παραγωγή των pellets γίνεται σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας. Τα δέματα ή η λεπτοτεμαχισμένη βιομάζα εισέρχονται στο μηχάνημα πελλετοποίησης και το τελικό προϊόν είναι κυλινδρικά pellets διαμέτρου 1,5 cm και μήκους 4 cm, έχουν περιεκτικότητα σε υγρασία λιγότερο από 10% και πυκνότητα 800 kg/m³ (Barbucci *et al.*, 1994).

Όπως προαναφέρθηκε, γίνονται δοκιμές θεριζοαλωνιστικής μηχανής η οποία συγχρόνως μετατρέπει την ξηρή βιομάζα σε πελλέτες πυκνότητας 500kg/m^3 .

Πρόσφατα αναπτύχθηκε σε εμπορική κλίμακα μια νέα τεχνολογία πελλετοποίησης χαμηλής θερμοκρασίας (70°C) με δυναμικότητα παραγωγής 1-5 τόνους/ώρα. Τα παραγόμενα pellets έχουν διάμετρο 1-1,2 cm, μήκος 4 cm, υγρασία περίπου 10% και ειδικό βάρος $1,5\text{ gr/cm}^3$. Η πυκνότητά τους είναι $600\text{-}700\text{kg/m}^3$ (Grassi & Vasen, 2004).

Επίσης εκτός από τη μετατροπή σε πελλέτες είναι δυνατή η παραγωγή μεγαλύτερων τεμαχίων συμπιεσμένης βιομάζας, τις μπριγκέτες (briquettes), οι οποίες είναι κατάλληλες για μεγάλης ισχύος καυστήρες πάνω από 500 kW. Η διάμετρος των μπριγκέτων είναι 0,6-1,6 cm, το μήκος τους 6,5 mm ενώ έχουν πυκνότητα $650\text{-}700\text{ kg/m}^3$ (LAMNET, 2006d). Η παραγωγή στερεών καυσίμων σε μορφή pellets επιτρέπει διανομή και αποθήκευση των στερεών καυσίμων παραπλήσια με αυτή των υγρών καυσίμων και καθιστά δυνατή τη χρήση του γλυκού και ινώδους σόργου και για οικιακή θέρμανση ή θέρμανση κτιρίων και άλλων εγκαταστάσεων όπως για παράδειγμα βιομηχανικών ή θερμοκηπιακών μονάδων. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται σε εμπορική κλίμακα οικιακές θερμάστρες και καυστήρες pellets για κεντρική θέρμανση.

Σύμφωνα με τους González *et al* (2006), τα pellets από μίγματα γλυκού ή ινώδους σόργου με άλλα είδη φυτικής βιομάζας (πχ κλαδοδέματα αμυγδαλιάς, καλάμι κ.α) αύξησαν την απόδοση καύσης και μείωσαν την παραγωγή τέφρας σε οικιακό καυστήρα (12 KW), σε σχέση με pellets αμιγώς παρασκευασμένα από βιομάζα σόργου.

Αναφορικά με την ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα, γενικά προτιμώνται τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού γιατί επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 70-80%. Η βιομάζα είτε χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με ατμοστρόβιλο, είτε αεριοποιείται και τα αέρια καύσεως παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με αεριοστρόβιλο (Βουρδουμπάς, 1999).

12.3.4 Παραγωγή βιοαερίου και βιουδρογόνου

Η παραγωγή βιοαερίου γίνεται με μεθανική ζύμωση της βιομάζας και τελικό προϊόν της αναερόβιας μετατροπής της κυτταρίνης μεθάνιο και CO₂. Η παραπάνω διεργασία γίνεται με τη βοήθεια μίγματος καλλιεργειών μικροοργανισμών και ως πρώτη ύλη μπορεί να είναι η βιομάζα ινώδους σόργου ή τα κυτταρινούχα υπολείμματα του γλυκού σόργου. Σε πρώτο στάδιο γίνεται υδρόλυση της οργανικής ουσίας προς απλά σάκχαρα και τελικά σε H₂, CO₂ και οργανικά οξέα. Η υδρόλυση γίνεται με χρήση υδρολυτικών βακτηριδίων ή υδρολυτικών ενζύμων. Στη συνέχεια σε δεύτερο αντιδραστήρα παράγεται μεθάνιο με τη δράση μεθανογόνων βακτηρίων, και ταυτόχρονη κατανάλωση H₂ (ΕΛΚΕΠΑ, 1986, Claassen *et al.*, 2004). Η παραγωγή βιουδρογόνου μπορεί να γίνει με πρώτη ύλη γλυκό και ινώδες σόργο με βιολογική ή θερμοχημική μετατροπή.

Στη πρώτη περίπτωση η διαδικασία είναι παρόμοια με τη μεθανική ζύμωση, με τη διαφορά ότι δεν χρησιμοποιούνται μεθανογόνα βακτήρια αλλά θερμόφιλα ή φωτοτερότροφα βακτήρια και το τελικό προϊόν είναι το H₂. Ο σακχαρούχος χυμός ζυμώνεται απευθείας ενώ για την κυτταρίνη προηγείται υδρόλυση. Οι (Claassen *et al.*, 2004) αναφέρουν σχετικά με την παραγωγή H₂ από γλυκό σόργο στη χώρα μας ότι με χρήση του βακτηρίου *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*, η τελική απόδοση ανά στρέμμα καλλιέργειας ήταν 210 kg H₂, εκ των οποίων 130 kg παράχθηκαν από το σακχαρούχο χυμό και 80 kg από τα υπολείμματα της αποχύμωσης. Για την ζύμωση των υπολειμμάτων προηγήθηκε υδρόλυση της κυτταρίνης.

Κατά τη θερμοχημική μετατροπή, η οποία έχει δοκιμαστεί για υπολείμματα αποχύμωσης γλυκού σόργου, η διαδικασία περιλαμβάνει τέσσερα στάδια (Grassi & Vasen, 2004). Στο πρώτο στάδιο ξηραίνονται και συμπιέζονται τα υπολείμματα και παράγονται πελλέτες υγρασίας 10%. Στο επόμενο στάδιο γίνεται ανθρακοποίηση των pellets σε θερμοκρασία 450-500 °C. Ακολουθεί το τρίτο στάδιο, όπου παράγεται συνθετικό βιοαέριο (SNG)

σύστασης 60% H₂ και 40% CO, σε αντιδραστήρα αεριοποίησης θερμοκρασίας 800-900°C. Από 1 kg ανθρακοποιημένων pellets παράγονται περίπου 0,6 kg βιοαερίου. Στο τελευταίο στάδιο γίνεται καταλυτική μετατροπή του CO σε CO₂ και H₂ με την επίδραση υψηλής θερμοκρασίας και ατμού. Το τελικό προϊόν της θερμοχημικής μεθόδου μετατροπής είναι 99,99% H₂.

12.4 Αξιοποίηση της καλλιέργειας

Η οικονομικότητα και η σκοπιμότητα της καλλιέργειας του σόργου ως ενεργειακού φυτού, εκτός από την οικονομική βιωσιμότητα σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης μέσω των στρεμματικών αποδόσεων και του κόστους παραγωγής, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την οικονομικότητα των μεταποιητικών μονάδων που με τη σειρά της εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και την διαμορφούμενη τιμή πώλησης του βιοκαυσίμου.

Η βιομηχανική χρήση της βιομάζας του γλυκού και ινώδους σόργου μπορεί να γίνει είτε μέσω μικρών μονάδων μεταποίησης είτε με μεγάλης δυναμικότητας βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοενέργειας ή βιοκαυσίμων. Πιθανές δυσκολίες είναι η εποχικότητα της γεωργικής παραγωγής (2-3 μήνες) και το γεγονός ότι η βιομάζα είναι αλλοιώσιμη, που συντελούν σε προβλήματα προγραμματισμού και χρονικής ακρίβειας.

Η σταθερή παροχή πρώτης ύλης κατά τη διάρκεια λειτουργίας των μονάδων παραγωγής βιοενέργειας ή βιοκαυσίμων είναι κρίσιμος παράγοντας για τη βιωσιμότητά τους. Γι' αυτό απαιτείται συνδυασμός ετήσιων και πολυετών ενεργειακών καλλιεργειών για διεύρυνση του χρόνου παροχής πρώτης ύλης και ασφαλή τροφοδοσία των παραγωγικών μονάδων (ΚΑΠΕ, 2004). Η καλύτερη λύση τόσο για τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν όσο και για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής αλυσίδας είναι τα ολοκληρωμένα σχήματα παραγωγής και τα οποία είναι μεγάλης κλίμακας υβριδικές μονάδες (Duke, 1983, ΚΑΠΕ, 2004, Panoutsou, 2004, BID, 2005).

Από το 1998 έχει ξεκινήσει στην Ευρωπαϊκή Ένωση η μελέτη σκοπιμότητας, η τεχνοοικονομική ανάλυση και η περιβαλλοντική μελέτη

σχετικά με τη δημιουργία μεγάλης κλίμακας ολοκληρωμένων σχημάτων παραγωγής που βασίζονται στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου (Chiaramonti *et al.*, 2002, EUBIA, 2002, Vasen & Grassi, 2004). Για το σκοπό αυτό υπάρχει συνεργασία μεταξύ ΕΕ και Κίνας και έχουν γίνει προκαταρκτικές μελέτες για δύο διαφορετικά σχήματα βιοδιυλιστηρίων, ένα με συγκέντρωση των επιμέρους μονάδων παραγωγής σε μία περιοχή και ένα δεύτερο με δημιουργία μικρότερων περιφερειακών μονάδων σε αγροτικές περιοχές (EUBIA, 2002, Vasen & Grassi, 2004, Chiaramonti *et al.*, 2006). Μάλιστα, έχει μελετηθεί και η εφαρμογή παρόμοιων σχεδίων σε αγροτικές περιοχές, για χωριά με πληθυσμό 100-5000 κατοίκων (Grassi *et al.*, 2006, LAMNET, 2006c).

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των παραπάνω μελετών, η δημιουργία των βιοδιυλιστηρίων είναι οικονομικά βιώσιμη και η παραγωγή αιθανόλης είναι εφικτή με κόστος 200-250 \$/t (Grassi *et al.*, 2002). Με το κόστος της υπάρχουσας τεχνολογίας, τα μικρά αποκεντρωμένα σχήματα δεν είναι οικονομικά βιώσιμα προς το παρόν (EUBIA, 2002). Στα ολοκληρωμένα σχήματα, μπορεί να υπάρξουν πολλές διαφορετικές γραμμές παραγωγής ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες στις αγορές των διαφόρων προϊόντων, για μεγιστοποίηση του κέρδους, ενώ μπορεί να γίνει χρήση διαφορετικών ποικιλιών για αύξηση της περιόδου συγκομιδής και παροχής πρώτης ύλης (από πολύ πρώιμες έως και πολύ όψιμες) ή για διαφορετικούς παραγωγικούς σκοπούς όπως για παράδειγμα καλλιέργεια ποικιλιών με μεγάλη παραγωγή καρπού.

Σχετικά με την αξιοποίηση της καλλιέργειας του γλυκού σόργου στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα συμπεράσματα του πρόσφατου 1^{ου} Πανελλήνιου Αγροτικού Συνεδρίου, η εισαγωγή της καλλιέργειας στη χώρα μας απαιτεί διάστημα 1-3 ετών. Με την παραδοχή ότι τα μέχρι σήμερα πειραματικά δεδομένα δε θα διαφέρουν ιδιαίτερα από αυτά που θα ληφθούν στη γεωργική πράξη και με βασική προϋπόθεση τη λειτουργία μεταποιητικής μονάδας υπό τη μορφή βιοδιυλιστηρίου (αξιοποίηση όλων των παραπροϊόντων), η παραγωγή βιοαιθανόλης από γλυκό σόργο εμφανίζεται βιώσιμη και επικερδής ακόμη και με μέγεθος μονάδος για παραγωγή 10 εκατομμύρια λίτρα ετησίως,

που απαιτεί καλλιέργεια 10-12.000 στρεμμάτων. Τέτοιου μεγέθους μονάδες είναι εφικτό να δημιουργηθούν και από ομάδες καλλιεργητών. Οι μονάδες αυτής της μορφής θα μπορούσαν να κατανεμηθούν ισόρροπα σε μεγάλο τμήμα της χώρας παρέχοντας τα αντίστοιχα κοινωνικοοικονομικά πλεονεκτήματα στην κάθε περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην αντίστοιχη περίπτωση χρήσης αραβόσιτου στη χώρα μας, για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας απαιτούνται ιδιαίτερα μεγάλες μονάδες παραγωγής αιθανόλης, ετήσιας δυναμικότητας 100 εκατομμύρια λίτρα με επενδυτικό κόστος πάνω από 100 εκατομμύρια ευρώ.

Η εμπλοκή των γεωργών μπορεί να είναι αυτοδύναμη όπως προαναφέρθηκε ή σε σχήματα κοινών επιχειρήσεων με μη αγρότες επιχειρηματίες. Στην περίπτωση μη συμμετοχής στον τομέα της μεταποίησης, αλλά ενασχόλησης των παραγωγών μόνο με τον πρωτογενή τομέα, το μοντέλο της συμβολαιακής γεωργίας είναι το μόνο ενδεικνυόμενο.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ήδη η Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης έχει εκπονήσει τεχνοοικονομική μελέτη για τη λειτουργία μεγάλης δυναμικότητας μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης (150.000 κυβικών μέτρων το χρόνο) ενώ βρίσκεται στο στάδιο αναζήτησης στρατηγικού επενδυτή για τη μετατροπή ενός ή και παραπάνω από τα πέντε εργοστάσια ζάχαρης που διαθέτει, σε μονάδες παραγωγής βιοαιθανόλης. Επίσης έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον για δημιουργία αντίστοιχων μονάδων από διάφορες ενώσεις αγροτικών συνεταιρισμών (Ε.Α.Σ) της χώρας μας καθώς και ιδιώτες επενδυτές.

12.5 Προοπτικές για την Ελλάδα.

Πριν από μερικά χρόνια, όταν η EBZ είχε αποφασίσει να μετατρέψει τα δύο εργοστάσιά της σε μονάδες παραγωγής βιοαιθανόλης, η τεχνολογία δεν είχε φτάσει σε τέτοιο σημείο ώστε σήμερα να είναι εφικτή η δημιουργία μικρότερων μονάδων, που θα βρίσκονται κοντά στις περιοχές καλλιέργειας.

Τα αποτελέσματα του ερευνητικού προγράμματος, όπως παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια ειδικής ημερίδας στη Θεσσαλονίκη, στα

πλαίσια της Agrotica, έδειξαν στους παρευρισκόμενους πόσο συμφέρει η επένδυση στη βιοαιθανόλη από γλυκό σόργο, με την προϋπόθεση, όμως ότι θα καταστεί δυνατή η χρήση της στα αυτοκίνητα, όπως γίνεται με το βιοντίζελ. Ουσιαστικά πλέον προτείνεται να γίνουν οι εξής κινήσεις στην περίπτωση της Ελλάδας:

- Ανάπτυξη μικρού και μεσαίου μεγέθους μονάδων παραγωγής βιοαιθανόλης, που βρίσκονται κοντά στα κέντρα παραγωγής πρώτης ύλης και με εύκολη πρόσβαση σε λιμενικές εγκαταστάσεις.
- Καθιέρωση ελαχίστου ποσοστού ανάμιξης της βιοαιθανόλης στα καύσιμα κίνησης.
- Καθιέρωση της υποχρέωσης αγοράς της εγχώριας παραγόμενης βιοαιθανόλης από τα διυλιστήρια.
- Θέσπιση φορολογικών κινήτρων για τους παραγωγούς βιοαιθανόλης.

Όσον αφορά το πόσο συμφέρει από το σιρόπι του σόργου να παράγεται βιοκαύσιμο, παρακάτω φαίνονται ξεκάθαρα οι διαφορές στην απόδοσή του σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες. Στα πλεονεκτήματά του, λοιπόν, συγκαταλέγονται:

- Αντοχή σε συνθήκες καταπόνησης (αλατότητας και περιορισμένης υγρασίας)
- Ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες
- Ανθεκτικότητα στην ξηρασία
- Ανεκτικότητα στην υπερβολική υγρασία
- Αντοχή στο πλάγιασμα και σε ορισμένες ασθένειες (βελτιωμένες ποικιλίες)

Τα μειονεκτήματά του είναι:

- Εξαντλεί την εδαφική υγρασία, τα θρεπτικά στοιχεία και υποβαθμίζει την δομή του εδάφους.
- Τα φυτικά υπολείμματα ευνοούν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών του εδάφους που ανταγωνίζονται τις επόμενες καλλιέργειες για το άζωτο.
- Τα φυτικά υπολείμματα ορισμένων ποικιλιών επηρεάζουν την ανάπτυξη μερικών καλλιεργούμενων φυτών (αλληλοπάθεια).

Προϋπόθεση για να συμφέρει τον παραγωγό η καλλιέργειά του είναι ότι θα αξιοποιηθεί τόσο για βιοκαύσιμο (χυμός) όσο και για βιομάζα (φύλλα και υπολείμματα):

- Οι αποδόσεις σε βιομάζα κυμαίνονται από 1,8 έως και 10 τόνους/στρέμμα.
- Η περιεκτικότητα σε χυμό από 65 έως 80%
- Η περιεκτικότητα σακχάρων στο χυμό κυμαίνεται από 9 έως 15%
- Η απόδοση σε ζάχαρη από 360 έως 4.500 κιλά/στρέμμα.
- Με τη ζύμωση μπορεί να παραχθούν 380-560 λίτρα/στρέμμα βιοαιθανόλη

13. Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα καλλιέργειας Σόργου

Από την αγρονομική άποψη, το γλυκό σόργο είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον από τον αραβόσιτο λόγω των σχετικά χαμηλών αναγκών σε άζωτο και σε νερό (Mastrorilli et al, 1999) (Barbanti et al, 2006). Το νερό άρδευσης είναι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την παραγωγή καλλιεργούμενων φυτών ωστόσο, η αλατότητα προκαλεί τις μεγάλες απώλειες στη γεωργία. Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου είναι μια εναλλακτική λύση σε αυτά τα εδάφη (Koukoulakis et al, 2000)

Το ενδιαφέρον για το γλυκό σόργο στα μεσογειακά περιβάλλοντα αυξάνεται λόγω της χρήσης του για την παραγωγή βιολογικών καυσίμων (από το χυμό) και την παραγωγή ενέργειας από την ακατέργαστη ύλη (βιομάζα) (Barbanti et al, 2006). Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου αυξάνεται στις προβληματικές περιοχές λόγω της υψηλής αντοχής του στα άλατα και την ξηρασία (Berenguer και Faci, 2001; Almodares και Hadi, 2009)

Το γλυκό σόργο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιολογικών καυσίμων μπορεί να είναι μια εναλλακτική καλλιέργεια στον αραβόσιτο στις προβληματικές περιοχές όπου το νερό άρδευσης είναι περιορισμένο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της καλλιέργειας (Almodares και Hadi 2009)

Η επιλογή των κατάλληλων ποικιλιών γλυκού σόργου για κάθε περιοχή πρέπει να γίνει μετά από σχετικές έρευνες των επιστημών. Μόνο έτσι μπορούμε να εγγυηθούμε στους παραγωγούς ποιες είναι οι κατάλληλες ποικιλίες γλυκού σόργου για την περιοχή τους.

Τα κίνητρα των αγροτών μπορεί να αυξηθούν εάν οι ποικιλίες γλυκού σόργου παρέχουν τα άμεσα οφέλη, όπως η αποδεκτή παραγωγή βιομάζας και βιολογικών καυσίμων, από τους αγρούς όπου άλλες καλλιέργειες είναι μη παραγωγικές (Almodares και Hadi, 2009).

Πλεονεκτήματα καλλιέργειας γλυκού σόργου

- Υψηλή φωτοσυνθετική ικανότητα (C4 φυτό)
- Μεγάλη παραγωγή βιομάζας
- Δυνατότητα δεύτερης κοπής
- Έχει την υψηλότερη αποδοτικότητα ζύμωσης (90-92%) από το ζαχαροκάλαμο (85-88%)
- Απαιτεί χαμηλή ενέργεια (1/4) και λιγότερο από (1/2) του κόστους των μηχανημάτων
- Λιγότερα απόβλητα μετά την παραγωγή αιθανόλης συγκριτικά με τα σιτηρά
- Ανώτερη ποιότητα και υψηλό οκτάνιο (μέχρι 25%)
- Αντοχή στο πλάγιασμα και σε ορισμένες ασθένειες (βελτιωμένες ποικιλίες)
- Αντοχή του γλυκού σόργου στην ξηρασία
- Μικρό ρυθμό ανάπτυξης του υπέργειου τμήματος μέχρι το ριζικό σύστημα να αναπτυχθεί κανονικά
- Μεγάλο βάρος και όγκος ρίζας (1.5-2 m και ρυθμό 2 έως 5 cm/ημ.)
- Μεγαλύτερο μόνιμο ριζικό σύστημα και μικρότερη φυλλική επιφάνεια από το καλαμπόκι
- Ικανότητα μείωσης του οσμωτικού δυναμικού, διατήρηση της σπαργής κατά τη διάρκεια της ξηρασίας
- Ικανότητα διατήρησης σχετικά υψηλού υδατικού δυναμικού με την αύξηση της ξηρασίας του εδάφους
- Μείωση απωλειών νερού λόγω μορφολογικών χαρακτηριστικών των φύλλων (παχιά εφημερίδα, κηρώδες επίχρισμα, μηχανικά κύτταρα που μειώνουν τη διαπνοή)

Η αντοχή στην ξηρασία οφείλεται:

- Υψηλός λόγος ρίζα/βλαστοί σε ανθεκτικές ποικιλίες
- Ύπαρξη γονιδίων που δίνουν αντοχή στην ξηρασία
- Σε περίοδο εκτεταμένης ξηρασίας αναστέλλει τη βλάστηση

Μειονεκτήματα γλυκού σόργου

- Εξαντλεί την εδαφική υγρασία, θρεπτικά στοιχεία και υποβαθμίζει την δομή του εδάφους
- Τα φυτικά υπολείμματα ορισμένων ποικιλιών επηρεάζουν την ανάπτυξη μερικών καλλιεργούμενων φυτών

14. Οικονομικά στοιχεία καλλιέργειας σόργου

Η 1ης γενιάς βιοαιθανόλη, που παράγεται από γλυκό σόργο παρουσιάζει μια μεγάλη περιβαλλοντική, οικονομική και ενεργειακή βιωσιμότητα (η καύση της βιοαιθανόλης έχει μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της τάξεως του 70-71% έναντι άλλων συμβατικών καυσίμων). Η επεξεργασία του γλυκού σόργου και η αξιοποίηση των υποπροϊόντων που παράγονται, κατοχυρώνει την οικονομική βιωσιμότητα ακόμα και για αποκεντρωμένες μικρομεσαίες μονάδες (δυναμικότητας 15.000 τόνοι/έτος), ενώ η ενεργειακή αναλογία της κυμαίνεται από 1,7 έως 7,3 (<http://esse-community.eu>).

Στην παρούσα φάση, η αγορά βιοαιθανόλης στην ΕΕ ελέγχεται από μεγάλους βιομηχανικούς ομίλους και μεγάλους γεωργικούς συνεταιρισμούς της βιομηχανίας ζάχαρης και οينوπνεύματος, ενώ τα σιτηρά αποτελούν την

κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης σε μεγάλες μονάδες (100.000-200.000 τόνους/έτος) (<http://esse-community.eu>).

Προς το παρόν, η παραγωγή βιοαιθανόλης από γλυκό σόργο δεν λαμβάνεται υπόψη από τους εκάστοτε ενδιαφερόμενους επενδυτές, λόγω απουσίας τεχνογνωσίας και θεωρητικού υπόβαθρου για τις δυνατότητες του ενεργειακού αυτού φυτού.

Προκειμένου νέοι επενδυτές να προχωρήσουν σε επενδύσεις γύρω από την παραγωγή βιοαιθανόλης θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι γραφειοκρατικές διαδικασίες υλοποίησης τέτοιων μονάδων.

Για την βιωσιμότητα της παραγωγής των πρώτων υλών, θα πρέπει να επιλυθούν τα ακόλουθα ζητήματα: πρώτον, οι αγρότες θα πρέπει να διασφαλιστούν μέσω συμβολαίων ότι οι μονάδες θα αγοράζουν ολόκληρη τη σοδειά τους σε μια τιμή που θα διασφαλίζει το κέρδος τους. Δεύτερον, η τοποθεσία της μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Υποστηρίζεται ότι για την βιωσιμότητα της αλυσίδας παραγωγής, τα κέντρα συλλογής δε θα πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 30 km από τα εργοστάσια. Ανεξάρτητοι αγρότες και/ή οι αγροτικοί συνεταιρισμοί θα μπορούσαν να προβούν στην εξαγωγή του χυμού από τα στελέχη του γλυκού σόργου και στην πώληση του χυμού (ή σε μορφή σιροπιού) στις μονάδες παραγωγής.

Η καλλιέργεια του γλυκού σόργου και η αποθήκευση της πρώτης ύλης απαιτούν περίπου 100-150 €/στρέμμα. Δεδομένου ότι το γλυκό σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε διάφορα εδάφη και κλιματολογικές συνθήκες, οι κύριες μεταβλητές είναι οι απαιτήσεις σε λιπάσματα και η άρδευση. Συνεπώς σε φτωχά εδάφη των ημι-άγονων περιοχών, οι δαπάνες είναι υψηλότερες καθώς απαιτείται περισσότερη λίπανση και άρδευση.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις συνολικές δαπάνες, είναι το κόστος των «πρόσθετων» (π.χ. μυρμηγκικό οξύ), το οποίο εξαρτάται σημαντικά από την ποσότητα και το κόστος των logistics για την αποθήκευση της πρώτης ύλης. Εάν η αποθήκευση πραγματοποιείται σε κάθε χωράφι, η τιμή είναι υψηλή, ενώ εάν η αποθήκευση γίνεται σε μια περιοχή, το κόστος μπορεί να μειωθεί.

Σχετικά με τη διαδικασία της επεξεργασίας της πρώτης ύλης, οι δαπάνες επένδυσης εξαρτώνται από το μέγεθος της μονάδας και ωφελούνται από την οικονομία κλίμακας, συνεπώς οι μικρότερες μονάδες είναι σημαντικά ακριβότερες από τις μεγαλύτερες.

Το κόστος επένδυσης της μονάδας των 10.000 τόνων το έτος είναι περίπου 22-25 εκατομμύρια ευρώ. Η αγορά του οικοπέδου (χώρου εγκατάστασης της μονάδας), η λήψη των αδειών και η συντήρηση της μονάδας δεν συμπεριλαμβάνονται (<http://esse-community.eu>).

Η μικρότερη μονάδα των 3.200 τόνων το έτος έχει ένα αναλογικά υψηλότερο κόστος επένδυσης, 13-15 εκατομμύρια ευρώ. Σημαντικές διαφορές σημειώνονται στο κόστος της επένδυσης ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί στην μονάδα, τον βαθμό αυτοματοποίησης, την ενεργειακή ή όχι εκμετάλλευση των υποπροϊόντων κ.α.

Επιπλέον, οι λειτουργικές δαπάνες εξαρτώνται από το μέγεθος της μονάδας: στο πρώτο μοντέλο (10.000 τόνοι/έτος) οι ετήσιες λειτουργικές δαπάνες είναι 150-200€/τόνο της παραχθείσας βιοαιθανόλης, ενώ στο δεύτερο μοντέλο (3.200 τόνοι/έτος) είναι 300-350 €/ τόνο της παραχθείσας βιοαιθανόλης (<http://esse-community.eu>).

Επίσης έχουν γίνει πειράματα για την αξιολόγηση της μερικής αντικατάστασης της καλλιέργειας του καλαμποκιού με την καλλιέργεια σόργου που απαιτεί λιγότερες εισροές (Δαναλάτος Ν. και Τσιμπούκα Κ, 2008.). Συγκεκριμένα, μελετώνται η αύξηση της παραγωγικότητας και της διατροφικής (πρωτεϊνικής) αξίας καλαμποκιού και σόργου, κάτω από βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης (δυναμικό παραγωγής) και κάτω από συνθήκες μειωμένων εισροών (άρδευσης και λίπανσης), με πειράματα στον αγρό. Για την κοστολόγηση και αξιολόγηση των εισροών και του ακαθάριστου κέρδους παραγωγού, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη δυτική θεσσαλική πεδιάδα, όπως η τιμή πώλησης του τελικού προϊόντος, και το κόστος αγοράς υλικών το έτος 2009. Υποθέτοντας την ίδια τιμή πώλησης του προϊόντος, η καλλιέργεια του σόργου προσφέρει στον παραγωγό 6 έως 9 φορές υψηλότερο ακαθάριστο κέρδος σε σχέση με την καλλιέργεια του αραβοσίτου κάτω από συνθήκες υψηλών και χαμηλών εισροών. Στην περίπτωση που

συνυπολογίσουμε και τη θρεπτική αξία του ενσιρώματος, η τιμή πώλησης του σόργου θα είναι ελαφρώς μικρότερη.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η περίπτωση του σόργου (χαμηλών εισροών) φαίνεται να αποτελεί την καλύτερη δυνατή επιλογή για μεγιστοποίηση του κέρδους του παραγωγού, αφού, άλλωστε, οι υπολογιζόμενες μεταβλητές δαπάνες/τόνο παραγόμενης χλωρής βιομάζας είναι 2,5 φορές χαμηλότερες από αυτές του αραβοσίτου (8,6 €/t έναντι 22,1 €/t).

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα υβρίδια σόργου μπορούν να φθάσουν τους 15t χλωρής βιομάζας ανά στρέμμα, με ικανοποιητική θρεπτική αξία. Έτσι, το σόργο μπορεί να ενσωματωθεί ως μια εναλλακτική καλλιέργεια για παραγωγή ζωοτροφής καταλαμβάνοντας μέρος από την έκταση του αραβοσίτου που καλλιεργείται στη Θεσσαλία. Η υπεροχή του σόργου έναντι του αραβοσίτου αυξάνεται σε συνθήκες μειωμένων εισροών, καθώς το σόργο παρουσιάζει καλύτερους δείκτες αξιοποίησης φωτός, νερού και θρεπτικών σε σχέση με τον αραβόσιτο. Ούτως ή άλλως από αγρονομική άποψη, το γλυκό σόργο είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον από τον αραβόσιτο λόγω των σχετικά χαμηλών αναγκών σε άζωτο και σε νερό (Mastorilli et al, 1999) (Barbanti et al, 2006).

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ακόμα κι αν πολλοί λόγοι καθόρισαν τη αύξηση των τιμών των αγροτικών προϊόντων, το πρόβλημα «καύσιμα εναντίον τροφίμων» παρουσιάστηκε ως το κυριότερο πρόβλημα και η κοινή γνώμη πείστηκε ότι τα βιοκαύσιμα αποτελούν απειλή για την χαμηλή τιμή των αγροτικών προϊόντων. Αυτό όμως δεν ισχύει απόλυτα.

Η χρήση ημιάγονων εδαφών, όπου εδώδιμες πρώτες ύλες δεν θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν θα μπορούσε να αποτελέσει μια λύση στον ανταγωνισμό αυτό.

Το γλυκό σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε φτωχά εδάφη, με χαμηλές εισροές και επίσης κάποιες ποικιλίες μπορούν να καλλιεργηθούν αποκλειστικά για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Η υψηλή παραγωγικότητα αποδεικνύει ότι το σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί σε κάποιες περιοχές της κεντρικής Ελλάδος, σε εδάφη με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, χωρίς άρδευση ή εντελώς συμπληρωματική και μέτρια λίπανση επί της γραμμής, ως εναλλακτική καλλιέργεια χαμηλών εισροών για παραγωγή ξηρής βιομάζας σε μορφή pellets, καθώς και παραγωγή βιοαιθανόλης με ζύμωση σακχάρων στο άμεσο μέλλον.

Η οικονομικότητα και η σκοπιμότητα της καλλιέργειας του σόργου ως ενεργειακού φυτού, εκτός από την οικονομική βιωσιμότητα σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης μέσω των στρεμματικών αποδόσεων και του κόστους παραγωγής, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την οικονομικότητα των μεταποιητικών μονάδων που με τη σειρά της εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και την διαμορφούμενη τιμή πώλησης του βιοκαυσίμου.

Η βιομηχανική χρήση της βιομάζας του γλυκού και ινώδους σόργου μπορεί να γίνει είτε μέσω μικρών μονάδων μεταποίησης είτε με μεγάλης δυναμικότητας βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοενέργειας ή βιοκαυσίμων. Πιθανές δυσκολίες είναι η εποχικότητα της γεωργικής παραγωγής (2-3 μήνες) και το γεγονός ότι η βιομάζα είναι αλλοιώσιμη, που συντελούν σε προβλήματα προγραμματισμού και χρονικής ακρίβειας.

Η σταθερή παροχή πρώτης ύλης κατά τη διάρκεια λειτουργίας των μονάδων παραγωγής βιοενέργειας ή βιοκαυσίμων είναι κρίσιμος παράγοντας για τη βιωσιμότητά τους. Γι' αυτό απαιτείται συνδυασμός ετήσιων και πολυετών ενεργειακών καλλιεργειών για διεύρυνση του χρόνου παροχής πρώτης ύλης και ασφαλή τροφοδοσία των παραγωγικών μονάδων (ΚΑΠΕ, 2004). Η καλύτερη λύση τόσο για τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν όσο και για την βελτιστοποίηση της παραγωγικής αλυσίδας είναι τα ολοκληρωμένα σχήματα παραγωγής και τα οποία είναι μεγάλης κλίμακας υβριδικές μονάδες (Duke, 1983, ΚΑΠΕ, 2004, Panoutsou, 2004, BID, 2005).

Σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν διεξαχθεί στον Ελληνικό χώρο μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η καλλιέργεια του σόργου ως

ενεργειακό φυτό θα συμβάλλει στη δημιουργία θέσεων εργασίας, στην αύξηση του εισοδήματος των αγροτών και στη διατήρηση του αγροτικού πληθυσμού, ζητήματα καίρια τον καιρό που διανύουμε καθώς ολοένα και περισσότεροι πολίτες, αγρότες ή μη, στρέφονται στις ενεργειακές καλλιέργειες, τόσο για βελτίωση του περιβάλλοντος όσο και ως μια νέα πηγή εισοδήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ackerson RC, Krieg DR. Stomatal and nonstomatal regulation of water use in cotton, corn, and sorghum. *Plant Physiol.* 1977 Dec;60(6):850-3.
2. Albrizio, R., Steduto, P., 2003. Photosynthesis, respiration and conservative carbon use efficiency of four field grown crops. *Agric. For. Meteorol.* 116, 19–36.
3. Alexopoulou E., Chatziathanassiou A., Panoutsou C., Koutoukidis A., Tsakiris S., Drimaki E. 2000. Yields and Public Perception of Sweet Sorghum Grown in Demonstrative Fields of Northern Greece. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp. 1638-1641.
4. Almodares, A., Jafarinia M., & Hadi, M. R. (2009) The Effects of Nitrogen Fertilizer on Chemical Compositions in Corn and Sweet Sorghum. *American-Eurasian J. Agric.& Environ. Sci.*, 6 (4): 441-446.
5. Amaducci, S., Monti, A. and Venturi, G. (2004). Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. *Industrial Crops and Products* 20: 111-118.
6. Arnon, I. (1972). *Crop Production in Dry Regions*. Vol. II. Systematic Treatment of the Principal Crops, Leonard Hill, London.
7. Barbucci, P., Andreuccetti, P., Frati, G., Bacchiet, P., Vannucci, D. and Pari, L. (1994). Energy crops harvesting: fiber sorghum, kenaf, *Arundo donax*, *Miscanthus*, *Cynara cardunculus*. In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Bochum: Ponte Press, pp. 38-41.
8. Bassam N. El. 1998. Energy plant species. 18-49.

9. Beijing Green Energy Institute (2005). Introduction of sweet sorghum. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.sustainable-agro.com/english/EN-tgl1.htm>
10. Belayachi, L. and Delmas, M. (1997). Sweet sorghum bagasse: a raw material for the production of chemical paper pulp. Effect of depithing. *Industrial Crops and Products* 6: 229-232.
11. Berenguer, M. J. & Faci, J. M. (2001). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. *European Journal of Agronomy*, 15:43-55.
12. Berenji, J. and Dahlberg, J. (2004). Perspectives of sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: pp. 332-338.
13. BID (2005). Biomass Industry Day - General Conclusions. 20 October 2005
14. Billa E., Koullas D.P., Monties B. and Koukios E.G., (1997), Structure and composition of sweet sorghum stalk components, *Industrial Crops and Products*, 6, 297-302.
15. Biomass guide, ΚΑΠΕ, 2005. www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
16. BioMatNet (2000). SORGHUM: Environmental studies on sweet and fibre sorghum sustainable crops for biomass and energy. 2000 Progress Report Executive Summary (FAIR-CT96-1913). Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.biomatnet.org/secure/Fair/R1913.htm>
17. Brawand H., Hossner R. L. 1976. Nutrient Content of Sorghum Leaves and Grain as Influenced by Long-Term Crop Rotation and Fertilizer Treatment. *Agronomy Journal*, 68: 277-280.
18. Brawand H., Hossner R. L. 1976. Nutrient Content of Sorghum Leaves and Grain as Influenced by Long-Term Crop Rotation and Fertilizer Treatment. *Agronomy Journal*, 68: 277-280.
19. Brawand H., Hossner R. L. 1976. Nutrient Content of Sorghum Leaves and Grain as Influenced by Long-Term Crop Rotation and Fertilizer Treatment. *Agronomy Journal*, 68: 277-280.

20. Buxton, D. R., Anderson, I. C. and Hallam, A. (1999). Performance of sweet and forage sorghum grown continuously, double-cropped with winter rye, or in rotation with soybean and maize. *Agronomy Journal* 91: 93-101.
21. Chiaramonti, D., Agterberg, A., Grassi, G., Grimm, H.-P. and Coda, B. (2002). Large bioethanol project from sweet sorghum in China and Italy (ECHIT): description of site, process schemes and main products. Paper presented at the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands.
22. Chiaramonti, D., Grimm, H.-P., El Bassam, N. and Cendagorta, M. (2000). Energy crops and bioenergy for rescuing deserting coastal area by desalination: feasibility study. *Bioresource Technology* 72: 131-146.
23. Chiaramonti, D., Grimm, H.-P., El Bassam, N. and Cendagorta, M. (2000). Energy crops and bioenergy for rescuing deserting coastal area by desalination: feasibility study. *Bioresource Technology* 72: 131-146.
24. Christakopoulos, P., Li, L.-W., Kekos, D. and Macris, B. J. (1993). Direct conversion of sorghum carbohydrates to ethanol by a mixed microbial culture. *Bioresource Technology* 45: 89-92.
25. Chynoweth DP, Turick CE, Owens JM, Jerger DE, Peck MW (1993) Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks. *Biomass & Bioenergy* 5: 95-111
26. Claassen, P.A.M., de Vrije, T., Budde, M.A.W., Koukios, E.G., Glynos, A. and Reczey, K. (2004). Biological hydrogen production from sweet sorghum by thermophilic bacteria. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
27. Claassen, P.A.M., de Vrije, T., Budde, M.A.W., Koukios, E.G., Glynos, A. and Reczey, K. (2004). Biological hydrogen production from sweet sorghum by thermophilic bacteria. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).

28. Clegg D. M. 1982. Effect of soybean on yield and nitrogen response of subsequent sorghum crops in Eastern Nebraska. *Field Crops Research*, 5: 233-239.
29. Cosentino L. S. 1996. Crop physiology of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in relation to water and nitrogen stress. In: *Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, Toulouse, France- April 1-3. Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, France, pp. 30-41.
30. Curt, M. D., Fernandez, J. and Martinez, M. (1994). Potential of sweet sorghum crop for biomass and sugars production in Madrid (Spain) (pp. 632-635). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
31. Curt, M. D., Fernandez, J. and Martinez, M. (1995). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. "Keller" in relation to water regime. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 8, No 6: 401-409.
32. Curt, M. D., Fernandez, J. and Martinez, M. (1995). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. "Keller" in relation to water regime. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 8, No 6: 401-409.
33. Curt, M. D., Fernandez, J. and Martinez, M. (1998). Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. "Keller" in Central Spain. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, No 2: 169-178.
34. Dahlberg J.A. (1995). "Dispersal of Sorghum and the Role of Genetic Drift." *African Crop Science Journal* 3: 143-151.
35. Dalianis C., Christou M., Sooter S., Kyritsis S., Zafiris Ch., Samiotakis G. 1994. Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilization Rates on Growth and Productivity of Sweet Sorghum. In: *Biomass for Energy and Industry*. Proc. 7th EU Biomass Conference. Ed. Hall et al., Ponte Press, Bochum, Germany, pp. 1220-1227.

36. Dalianis D. C. 1996. Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. In: Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Toulouse, France- April 1-3. Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, France, pp. 15-25.
37. Dalianis, C., Christou, M., Sooter, S., Kyritsis, S., Zafiris, Ch. and Samiotakis, G. (1994b). Growth and productivity of sweet sorghum in Greece. (pp. 636-642). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), Biomass for Energy and Industry, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
38. Dalianis, C., Christou, M., Sooter, S., Kyritsis, S., Zafiris, Ch. and Samiotakis, G. (1994a). Effect of irrigation and nitrogen fertilization rates on growth and productivity of sweet sorghum. (pp. 1220-1228). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), Biomass for Energy and Industry, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
39. Dalianis, C., Christou, M., Sooter, S., Kyritsis, S., Zafiris, Ch. and Samiotakis, G. (1994b). Growth and productivity of sweet sorghum in Greece. (pp. 636-642). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), Biomass for Energy and Industry, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
40. Dalianis, C., E. Alexopoulou, N. Dercas and Ch. Sooter, 1996. Effect of plant density on growth, productivity and sugar yields of sweet sorghum in Greece. Biomass for Energy and Environment. Proc. 9th European Biomass Conference, Ed. Chartier et al., Pergamon Press, Oxford, UK, pp.582-587.
41. Demirbas, A. (2004). Bioenergy, global warming, and environmental impacts. *Energy Sources* 26: 225-236.
42. Dercas, N. and Liakatas, A. (1999). Sorghum water loss in relation to irrigation treatment. *Water Resources Management* 13: 39-57.
43. Dercas, P. N., Panoutsou S. C., Dalianis D. C., Sooter A. Ch. 1995. Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Response to Four Irrigation and Two Nitrogen Fertilization Rates. In: Biomass for Energy,

- Agriculture and Industry. Proc. 8th EU Biomass Conference. Ed. Chartier, et al., Pergamon Press, Oxford, UK, pp. 629-639.
44. Derkas N., Kavadakis G., Nikolaou A. 2000. Evaluation of Productivity, Water and Radiation Use Efficiency of Two Sweet Sorghum Varieties Under Greek Conditions. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp. 1654-1657.
 45. Derkas N., Panoutsou C., Dalianis C. 1996. Radiation use efficiency, water and nitrogen effects on sweet sorghum productivity. In: Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, Ed. Institut National de la Recherche Agronomique, France, pp. 218-221.
 46. Diamantidis, N.D., Koukios, E.G. (2000) Agricultural crops and residues as feedstocks for non-food products in Western Europe. *Industrial Crops and Products*, **11**, 97–106.
 47. Doggett, H. (1969). Yields of hybrid sorghum. *Expl. Agric.* 5, 1-10.
Doggett, H. (1988). Sorghum, Longman Scientific & Technical, Canada.
 48. Dolciotti, I., Mambelli, S., Grandi, S. and Venturi, G. (1998). Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products* 7: 265-272.
 49. Duke, J. A. (1983). Sorghum bicolor (L.) Moench. Handbook of energy crops. Διαθέσιμο στο
διαδίκτυο: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Sorghum_bicolor.html
 50. Durand, J.-L., Varlet-Grancher, C., Terrasson, J.-P. and Chartier, M. (1994). Water use efficiency and sensitivity to drought of sweet sorghum productivity under mild water deficit. (pp. 643-647). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), Biomass for Energy and Industry, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
 51. EEA (2004a). Βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές: εξέταση των σχέσεων με τους τομείς της ενέργειας και της γεωργίας. EEA Briefing No 4/2004. European Environment Agency. Διαθέσιμο στο: http://reports.el.eea.europa.eu/briefing_2004_4/el

52. EEA (2004b). Ενεργειακές επιδοτήσεις και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. EEA Briefing No 2/2004. European Environment Agency. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: http://reports.el.eea.europa.eu/briefing_2004_2/el/index.html_local
53. EECI (1999c). Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece. European Energy Crops Internetwork. Διαθέσιμο στο: www.eeci.net/archive/biobase/B10466.html
54. El Bassam, N. (1998). C3 and C4 plant species as energy sources and their potential impact on environment and climate. *Renewable Energy* 15: 205-210.
55. Eleftherohorinos I. And Afentouli, C.G. 1996. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) and short-spiked canarygrass (*Phalaris brachystachys*) interference in wheat and barley. *Weed Science* 44:560-565.
56. EUBIA (2006). Bioenergy: diversified systems to convert biomass resources into heat, power and transportation fuels. European Biomass Industry Association. [Ανακτήθηκε 16/4/2006] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: www.eubia.org
57. European Commission (2003b). European bioenergy projects 1999-2002: Project synopses
58. FAO. 1972. Production Yearbook. Rome, Italy.
59. Faaij, A. P. C. (2006). Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy* 34: 322-342.
60. Farré, I. and Faci, J. M. (2006). Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. (Agricultural Water Management, article in press).
61. Farré, I. and Faci, J. M. (2006). Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. (Agricultural Water Management, article in press).

62. Ferrell, J. A., MacDonald, G. E. and Brecke, B. J. (2005). Weed management in sorghum-2006. SS-AGR-06. Agronomy Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/WG/WG00200.pdf>
63. Foti M, Daquino C, Geraci C (2004). Electron- transfer reaction of cinnamic acids their methyl esters with the DPPH radical in alcoholic solution. *J. Org. Chem.* 69: 2309-2314.
64. Freeman, K. C., Broadhead, D. M. and Zummo, N. (1973). Culture of sweet sorghum for sirup production. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 411. Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: <http://www.wvu.edu/~agexten/forgrlvst/Bulletins/441a.pdf>
65. Gazaway, W. S. and Mask, P. L. (2006a). Sorghum diseases. Auburn University. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο στο: www.aces.edu/dept/grain/sorghumDIS.php
66. Gazaway, W. S. and Mask, P. L. (2006b). Disease and nematode control. Auburn University. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006]. Διαθέσιμο στο: www.aces.edu/dept/grain/sorghCON.php
67. Gerik T., Bean W. B, Vanderlip R. 2003. Sorghum Growth and Development. Texas Cooperative Extension Service, August 2003. Ανάκτηση από <http://tcebookstore.org/tmppdfs/8549584-B6137.pdf>, 7/11/2005.
68. Gherbin, P., De Franchi, A. S. and Lupo, F. (2004). Dry-farming yield of herbaceous crops for energy grown in mediterranean environment. First Results. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
69. Gibbons, W. R., Westby, C. A. and Dobbs, T. L. (1986). Intermediate-scale, semicontinuous solid-phase fermentation process for production of fuel ethanol from sweet sorghum. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 51, No. 1: 115-122.

70. Gnansounou, E., Dauriat, A. and Wyman, C. E. (2005). Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology* 96: 985-1002.
71. González, J. F., González-García, C. M., Ramiro, A., Ganán, J., Ayuso, A. and Turegano, J. (2006). Use of energy crops for domestic heating with a mural boiler. (*Fuel Processing Technology*, article in press).
72. Gosse, J.C., Reedy, R., Harrington, C.D., and Poths, J., 1996, Overview of the Workshop on Secular Variations in the Production Rate of Cosmogenic Nuclides on Earth: *Radiocarbon*, v. 38, p. 135-147.
73. Grassi, G., Tondi, G. and Helm, P. (2006). Small size commercial bioenergy technologies as instrument of rural development. *ETA Renewable Energies*. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006]. Διαθέσιμο: http://p14177.typo3server.info/uploads/media/Bioenergy_complex_for_magazine.pdf
74. Grassi, G. and Vasen, N. (2004). Low cost biohydrogen from solid biomass. *Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
75. Grigatti, M., Pritoni, G. and Venturi, G. (2004). Perennial and annual energy crops comparison in two different nitrogen fertilization regimes. *Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
76. Grigatti, M., Pritoni, G. and Venturi, G. (2004). Perennial and annual energy crops comparison in two different nitrogen fertilization regimes. *Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
77. Guiying, L. Weibin, G., Hicks, A. and Chapman, K. R. (2004). A training manual for sweet sorghum-Under the FAO project TCP/CPR/0066. eArticle ID 172. EcoPort version by P. Griffie. Διαθέσιμο: <http://ecoport.org/ep?SearchType=earticleView&earticleId=172&page=2>

78. Habyarimana, E., Bonardi, P., Laureti, D., Di Bari, V., Consentino, S. and Lorenzoni, C. (2004a). Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stand densities and variable water supply in Italy. *Industrial Crops and Products* 20: 3-9
79. Hattori, Y., K. Doi, K. Ikeda and J.M. Pagsaligan, 2005. Vascularized ulnar nerve graft for reconstruction of a large defect of the median or radial nerves after severe trauma of the upper extremity. *J. Hand Surg. Am.*, 30: 986-989.
80. Hayward, H. E. and L. Bernstein. Plant-growth relationship on salt affected soils. *Botanical Review*, 24:584–635. 1958
81. Jannssens, M., Meekers, E. and Chapelle, J. (1994). An energetic fallow in Wallonia: the case of sweet sorghum and sugar beet (pp. 685-689). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
82. Jerger, D.E., Chynoweth, D.P. and Isaacson, H.R. (1987), *Anaerobic Digestion of Sorghum Biomass*, *Biomass* **14**, 99-113.
83. Johansson, B.T., Kelly, H., Reddy, K.N.A., Williams, H.R. (1998). *Renewable energy sources for fuels and electricity*. Island Press, Washington.
84. Jones A. C. 1983. A survey of the variability in tissue nitrogen and phosphorus concentrations in maize and grain sorghum. *Field Crops Research*, 6: 133-147.
85. Jones A. C. 1983. A survey of the variability in tissue nitrogen and phosphorus concentrations in maize and grain sorghum. *Field Crops Research*, 6: 133-147.
86. JONES MM, TURNER NC (1980). Osmotic adjustment in expanding and expanded leaves of sunflowers in response to water deficits. *Aust J Plant Physiol* 7: 181-192.
87. Kangama, C. O. and Rumei, X. (2005a). Introduction of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) into China. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 4 (7): 575-579.

88. Kangama, C. O. and Rumei, X. (2005b). Production of crystal sugar and alcohol from sweet sorghum. *African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development*, Vol. 5: 1-5.
89. Kato, T., Kimura, R. and Kamichika, M. (2004). Estimation of evapotranspiration, transpiration ratio and water-use efficiency from a sparse canopy using a compartment model. *Agricultural Water Management* 65: 173-191.
90. Kavadakis G., Nikolaou A., Panoutsou C., Danalatos N. 2000. The Effect of Two irrigation and Three Fertilization Rates on the Growth and Productivity of Two Sweet Sorghum Cultivars, in Central Greece. In: 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp. 1737-1740.
91. Kennedy R. I., Choudhury A.T.M.A., Kecskés L. M. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? *Soil Biology & Biochemistry*, 36: 1229-1244.
92. Koukoulakis, P.H., Simonis, A.D., Gertsis, A.C., Paschalidis, C., Rigas, G., 2000. Maps of the salt affected soils of Greece and basic principles of their fertilization. In: Proceedings of the 8th Greek Conference of Soil Science, 21–23 September 2000, Kavala, Greece, pp. 178–199 (abstract in English).
93. LAMNET (2006a). Brochures and leaflets: Sweet sorghum - One of the best world food-feed-energy crop. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο: http://p9719.typo3server.info/uploads/media/LAMNET_-_sweet_sorghum.pdf.
94. LAMNET (2006a). Brochures and leaflets: Sweet sorghum - One of the best world food-feed-energy crop. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο: http://p9719.typo3server.info/uploads/media/LAMNET_-_sweet_sorghum.pdf.
95. LAMNET (2006a). Brochures and leaflets: Sweet sorghum - One of the best world food-feed-energy crop. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο: http://p9719.typo3server.info/uploads/media/LAMNET_-_sweet_sorghum.pdf

96. LAMNET (2006b). Technological leaflets: Biofuel for transport. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο στο διαδίκτυο: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/53781/1/LAMNET_biofuels_for_transport_2004.pdf
97. LAMNET (2006c). Technological leaflets: Modern bioenergy village complex- Integrated production of food, animal feed, energy. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] www.bioenergy-lamnet.org/publications/source/leaflets/Village.pdf
98. LAMNET (2006d). Technological leaflets: Refined biofuels: Pellets and briquettes. Latin America Thematic Network on Bioenergy. [Ανακτήθηκε: 8/3/2006] Διαθέσιμο στο: <http://www.bioenergy-lamnet.org/publications/source/leaflets/Pellets.pdf>
99. Lata R. N., Solomon S., Gulati L. S. 1996. Field response of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) to carrier based inoculants (*Azotobacter*, *Azospirillum*) and fermented residue. *Crop Research*, 12: 267-273.
100. Lemaire G., Charrier X., Hebert Y. 1996. Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. *Agronomie*, 16: 231-246.
101. Leonard W.H. & Martin J.H., 1963. *Cereal Crops*. The Macmillan Company, USA, Pp 679-735.
102. LEONARD, W. H., and J. H. MARTIN. 1963. *Cereal Crops*. Macmillan Co., New York.
103. Li, Y. & C.Z. Li, 1997. Phenotypic diversity of sorghum landraces in China: Retrospect and prospect. In: CAASS & CNSGC (Eds), *Seed Industry and Agricultural Development*, pp. 387-394. China Agriculture Press, Beijing.
104. Lin W., Okon Y., Hardy W. F. R. 1983. Enhanced Mineral Uptake by *Zea mays* and *Sorghum bicolor* Roots Inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Applied and Environmental Microbiology*, 45: 1775-1779.
105. Lingle, S.E., Dunlap, J.R.(1987) Sucrose metabolism in netted muskmelon fruit during development. *Plant Physiol.* **84**:386–389.

106. Livingston, S. D. and Coffman, C. D. (1995). Syrup sorghums for Texas. L-5146, Texas Agricultural Extension Service, The Texas A & M University System, College Station. Διαθέσιμο στο: <http://sanangelo.tamu.edu/agronomy/sorghum/l5146.pdf>.
107. Lockman B. R. 1972. Mineral composition of grain sorghum plant samples, Part III: Suggested nutrient sufficiency limits at various stages of growth. Soil Science and Plant Analysis, 3: 295-303.
108. Ludlow, M.M., and R.C. Muchow. 1990. A critical evaluation of the traits for improving crop yields in water limited environments. Adv. Agron. 43:107–153.
109. Luger, E. (1997). Energy crop species in Europe. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: http://www.blt.bmlf.gv.at/vero/artikel/artik013/Energy_crop_species+.pdf
110. Makridis, M., Nikolaou, A., Djouras, N. and Panoutsou, C. (2004). Agricultural biomass in Greece: current and future trends. In: Biomass and Agriculture: sustainability, markets and policies (pp. 363-376). OECD Publication Service, Paris, September 2004. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.oecd.org/home/>.
111. Mann, J.A., Kimber, C.T. & Miller, F.R. (1983). The origin and early cultivations of sorghums in Africa. Bull. No. 1454, Texas A. & M. University.
112. MARTIN. J. H. 1941. Climate and sorghum. USDA Agricultural Year Book. Washington. 343 pp.
113. Mask, P. L. and Morris, W. C. (1991). Sweet sorghum culture and syrup production. Circular ANR-625. Alabama Cooperative Extension Service, Auburn University. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0625/>.
114. Mask, L. P., Hagan, A., Mitchell, C.C. (1988). Production guide for grain sorghum. ANR-502, Alabama Cooperative Extension System. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0502/>.

115. Massacci, A., Battistelli, A. and Loreto, F. (1996). Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, growth and sugar accumulation of field-growth sweet sorghum. Abstract. *Australian Journal of Plant Physiology* 23(3): 331-340.
116. Mastorilli M., Katerji, N., Rana G. (1999) Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy* 11, 207-215.
117. Mastorilli, M., Katerji, N., Defilippis, R. and Incarnato, D. (1994). Sweet sorghum biomass productivity in the Mediterranean area (pp. 700-705). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th EC Conference. Ponte Press, Bochum.
118. Mastorilli, M., Katerji, N., Rana, G. and Steduto, P. (1995). Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial Crops and Products* 3: 253-260.
119. Maxey, H.T., T. Covey, B. McKinnon, and A. Allen. 1989. West central district crop budgets. Virginia Cooperative Extension Service Periodic Extension Memorandum. Va. Poly. Tech. Inst. & State Univ., Blacksburg.
120. Mays, D. A., Buchanan, W., Bradford, B. N. and Giordano, P. M. (1997). Fuel production potential of several agricultural crops. Purdue University. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings 1990/ v1-260.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings%201990/v1-260.html)
121. Mc Bee, W. E., Gregg, D. J. and Saddler, J. N. (2004). Progress in the commercialization of lignocellulosics-to-ethanol. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
122. Moncada, S. and Knowles, R.G., 1994. Nitric oxide synthases in mammals. *Biochem. J.* 298, 249–258.
123. Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil.Trans. R. Soc. Lond. Series B* 281, 277–294

124. Monti, A. and Venturi, G. (2003). Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy. *European Journal of Agronomy* 19: 35-43.
125. Muchow C. R. 1990. Effect of nitrogen on partitioning and yield in grain sorghum under differing environmental conditions in the semi-arid tropics. *Field Crops Research*, 25: 265-278.
126. Nan, L. and Ma, J. (1989). Research on sweet sorghum and its synthetic application. *Biomass* 20: 129-139. Negro, M. J., Solano, M., L., Carrasco, J. E. and Blanco, M. J. (1994). Laboratory composting assays of sweet sorghum bagasse with different additives (pp. 1110-1113). In D. O. Hall, G. Grassi and H. Scheer (eds.), *Biomass for Energy and Industry*, 7th E.C. Conference. Ponte Press, Bochum.
127. Negro, M. J., Solano, M. L., Ciria, P. and Carrasco, J. (1999). Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. *Bioresource Technology* 67: 89-92.
128. Olufayo, A. A., Ruelle, P., Baldy, C. and Aidaoui, A. (1997). Biomass of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under variable water regime. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, No 5: 383-386.
129. ORTAS, I., D.L. ROWELL and P.J. HARRIS 2004: Effect of mycorrhizae and pH change at the root-soil interface on phosphorus uptake by sorghum using a rhizocylinder technique. *Com. Soil Sci. Plant Analy.* **35**, 1061–1080.
130. Panoutsou, C. (2004). Strategic analysis for the future implementation of energy crops. *Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
131. PREMACHANDRA, G. S., H. SANEOKA, K. FUJITA, AND S. OGATA. 1992. Leaf water relations, osmotic adjustments, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water deficits in sorghum. *Journal of Experimental Botany* 43: 1569–1576.

132. Qiabi, A., Rigal, L. and Gaset, A. (1994). Comparative studies of hemicellulose hydrolysis processes: application to various lignocellulosic wastes. *Industrial Crops and Products* 3: 95-102.
133. Quinby JR, Karper RE (1954) Inheritance of height in sorghum. *Agron J* 46:211–216.
134. QUINBY, J. R., and R. E. KARPER. 1958. Grain crop production in Texas. *Tex. Agr. Exp. Sta. Bui.* 912.
135. Quinby, J.R. & Karper, R.E. (1954). Inheritance of height in sorghum. *Agron. J.* 46, 211-216.
136. Quinby, J.R. & Martin, J.H. (1954). Sorghum improvement. *Adv. Agron.* 305-359.
137. Quintero F., Casanova E. 2000. Concentración de nutrimentos en hojas de la planta de sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) y su relación con el diagnóstico de suficiencia nutricional. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 17: 196-207.
138. Rains GC, Cundiff JS, Welbaum GE (1993). Sweet sorghum for a piedmont ethanol industry. In: *New crops* (Eds. J Janick & JE Simon). Wiley New York
139. Rajvanshi, A.K., and Nimbkar, N. (2001). Sweet sorghum R&D at the Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI). Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://nariphaltan.virtualave.net/sorghum.htm>.
140. Rana, G. and Katerji, N. (1998). A measurement based sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration model for crops of different height and in contrasting water status. *Theoretical and Applied Climatology* 60: 141-149.
141. Ranney, J.W. & L.K. Mann (1994) Environmental considerations in energy crop production. *Biomass and Bioenergy* 6 (3), 211-228.
142. Richards, B.K., Cummings, R.J., Jewell, W.J. (1991) High rate low solids methane fermentation of sorghum, corn and cellulose, *Biomass and Bioenergy*, 1(5), 249-260.
143. Saini K. V., Bhandari C. S., Tarafdar C. J. 2004. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and

- mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. *Field Crops Research*, 89: 39-47.
144. Sakellariou-Makrandonaki, M., Danalatos, N., Dassios, S., and Chatzinikos, C. (2003). The effect of different irrigation methods on growth and productivity of fiber sorghum in central Greece. XXX IAHR Congress held in Thessaloniki, 25-31 August, pp. 777-784.
 145. Shah, Z., S.H. Shah, M.B. Peoples, G.D. Schwenke and D.F. Herriedge, 2003. Crop residue and fertilizer N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Res.*, 83: 1-11.
 146. Smith, C. W. and Frederiksen, R. A. (eds) (2000). Sorghum: origin, history, technology and production. John Wiley & Sons, Inc., USA.
 147. Steduto P. and Albrizio R., 2005. Resource-use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II Water Use Efficiency and comparison with Radiation Use Efficiency. *Agric. For. Meteorol.*, 130: 269-281.
 148. Stein T., Hayer-Schneg N., Fendrik I. 1997. Contribution of BNF by *Azoarcus* sp. BH72 in *Sorghum vulgare*. *Soil Biol. Biochem.*, 29: 969-971.
 149. Stricevic, R. and Caki, E. (1997). Relationships between available soil water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science* 18: 17-21.
 150. Tarpley, J. D., R. T. Pinker, and I. Laszlo, Experimental GOES shortwave radiation budget for GCIP, paper presented at the 2nd International Scientific Conference on the Global Energy and Water Cycle, World Clim. Res. Prog., Washington, D. C., 17– 21 June 1996.
 151. Tarpley, L., Lingle, S.E., Vietor, D.M., Andrews, D.L., & Miller, F.R. (1994). Enzymatic control of nonstructural carbohydrate concentrations in stems and panicles of sorghum. *Crop Sci.*, Vol. 34, No.2, pp. 446-452, ISSN 0011-183X.

152. TNAU (2006). Sweet sorghum production technology. Tamil Nadu Agricultural University. [Ανακτήθηκε:7/3/2006]. Διαθέσιμο στο: www.tnau.ac.in/tech/swc/swsorghum.pdf
153. Tonitto C., David M.B., Drinkwater L.E. (2006) Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics.
154. Torbert, W. R., Cook-Greuter, S. R., Fisher, D., Foldy, E., Gauthier, A., Keeley, J., et al. (2004). *Action inquiry: The secret of timely and transformational leadership*. San Francisco: Berrett-Koehler.
155. Trebbi, G. (1993). Power-production options from biomass: the vision of a southern european utility. *Bioresource Technology* 46: 23-29.
156. Trebbi, G. (1993). Power-production options from biomass: the vision of a southern european utility. *Bioresource Technology* 46: 23-29.
157. Turner, J. C. (1978). Social categorization, social identity and social comparisons. In H. Tajfel (Ed.), *Differentiation between social groups: Studies in the social psychology of intergroup relations* (pp. 61–76). London: Academic Press.
158. Undersander, D. J., Smith, L. H., Kaminski, A. R., Kelling, K. A. and Doll, J. D. (1990b). Sorghum-forage. Alternative Field Crops Manual. Extension, Cooperative Extension, University of Wisconsin - Center for Alternative Plant & Animal Products and the Minnesota Extension Service, University of Minnesota. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/forage.html>
159. Undersander, D. J., Lueschen, W. E., Smith, L. H., Kaminski, A. R., Doll, J. D., Kelling, K. A. and Oplinger, E. S. (1990a). Sorghum-for syrup. Alternative Field Crops Manual. Extension, Cooperative Extension, University of Wisconsin - Center for Alternative Plant & Animal Products and the Minnesota Extension Service, University of Minnesota. Διαθέσιμο στο: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/syrup.html>

160. UNEP (2002). Synthesis GEO-3, Global Environment Outlook 3 - Past, present and future perspectives. United Nations Environment Programme. <http://www.unep.org/Geo/geo3/english/index.htm>
161. UNEP (2004). World Energy Assessment : Overview 2004 Update. United Nations Environment Programme. Διαθέσιμο: <http://www.undp.org/energy/weaover2004.htm>
162. van Oosterom AT, Judson I, Verweij J, Stroobants S, Donato di Paola E, Dimitrijevic S, Martens M, Webb A, Sciot R, Van Glabbeke M, Silberman S, Nielsen OS (2001) Safety and efficacy of imatinib (STI571) in metastatic gastrointestinal stromal tumours: a phase I study. *Lancet* 358:1421–1423
163. Vanderlip R. L. 1993. How a sorghum plant develops. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Publication S-3, January 1993. Ανάκτηση από <http://entomology.unl.edu/fldcrops/ipm/gen-agronomy.htm>, 7/11/2005.
164. Venendaal, R., Jorgensen, U. and Foster, A. (1997). European energy crops: A synthesis. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 13, No 3: 147-185.
165. Venturi, P. and Venturi, G. (2003). Analysis of energy comparison for crops in european agricultural systems. *Biomass and Bioenergy* 25: 235-255.
166. Voss, A. (2004). Bio-fuels: biomass based blending components for transport fuels. Proceedings of the 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy (in press).
167. Weaver, J.E. (1962). Root Development of Field Crops, McGraw-Hill, New York.
168. Wereko-Brobby, C.Y. and Hagen, E.B., (Eds) (1996). Biomass conversion and technology. John Wiley & Sons, New York.
169. Wiedenfeld P. R. 1984. Nutrient Requirements and Use Efficiency by Sweet Sorghum. *Energy in Agriculture*, 3: 49-59.

170. Woods, J. (2001). The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 5, No 1: 31-38.
171. Worley, J. W., Cundiff, J. S. and Vaughan, D. H. (1992a). Potential economic return from fiber residues produced as by-products of juice expression from sweet sorghum. *Bioresource Technology* 41: 153-159.
172. Worley, J. W., Vaughan, D. H. and Cundiff, J. S. (1992b). Energy analysis of ethanol production from sweet sorghum. *Bioresource Technology* 40: 263-273.
173. Yamoah F. C., Clegg D. M., Francis A. C. 1998. Rotation effect on sorghum response to nitrogen fertilizer under different rainfall and temperature environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 68: 233-243.
174. Zadoks C. J., Chang T. T., Konzak F. C. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. . Ασπρούδας, Ν., 'Μελέτη της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας και προσδιορισμός παραμέτρων δομής της φυτικής κόμης βιολογικής καλλιέργειας γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Πτυχιακή εργασία στα πλαίσια του Διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πάτρα 2001.
2. Βερεσόγλου, Δ. Σ. (1996). Σημειώσεις γενικής οικολογίας. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
3. Βουρδουμπάς, Γ. (1999). Χρήση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας. ΤΕΙ Χανίων. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: www.chania.teiher.gr
4. Θεριός, Ν. Ι. (1996). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Γ. Δεδούση, Θεσσαλονίκη
5. Καμπρανής Α., 2007. Βιολογική καλλιέργεια γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] για παραγωγή βιομάζας. Η επίδραση της έλλειψης νερού στην εδαφική υγρασία σε φυσιολογικές τιμές και στις αποδόσεις της καλλιέργειας.
6. Καμπρανής Α., 2007. Βιολογική καλλιέργεια γλυκού σόργου για παραγωγή βιομάζας.
7. Καραμάνος, Α. Ι. (1999). Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων: αραβόσιτος, σόργο, ρύζι, κεχρί. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.
8. Καρατάγλης Σ. Φυσιολογία Φυτών Γ έκδοση, 1994. Εκδόσεις Art of Text.
9. Λόης, Ε. και Αναστασόπουλος, Γ. (2006). Χρήση του βιοντήζελ και της βιοαιθανόλης ως υποκατάστατων του πετρελαίου κίνησης & της βενζίνης. Παρουσίαση στην Ημερίδα ΗΜΕΡΙΔΑ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ & ΑΕΙΦΟΡΙΑ - Δυνατότητες, Κατευθύνσεις, Προοπτικές (28 Ιουνίου 2006). Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Διαθέσιμο στο διαδικτυακό τόπο: http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/treatise/8_EMP_Anastopoulos.pdf

10. Ν. Ασπρούδας και Κ. Αγγελόπουλος, 1999.)ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΓΛΥΚΟΥ ΣΟΡΓΟΥ *Sorghum bicolor* (L.).
11. Νικολάου, Α., Ναματοβ, Ε., Καβαδάκης, Γ., Τσιώτας, Κ., Πανούτσου, Κ. και Δαναλάτος, Ν. (2006). Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας. Περίληψη. [Ανακτήθηκε: 2/2/2006] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο: www.cres.gr
12. Παπακώστα, Δ. (1996). Σημειώσεις ειδικής γεωργίας Ι (σιτηρά, ψυχανθή, χορτοδοτικά φυτά). Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Θεσσαλονίκη.
13. Ρουκάς, Τ. (1992). Βιοτεχνολογία τροφίμων. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
14. Σακελλαρίου-Μαρκαντωνάκη και Κούνης Σ., 2011. Η επίδραση διαφορετικού χρόνου σποράς σε καλλιέργεια σόργου αρδευόμενο με επιφανειακή άρδευση.
15. Σακελλαρίου-Μαρκαντωνάκη και Σούλητη Α., 2007. Υπόγεια άρδευση του ενεργειακού φυτού σόργου με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.
16. Υπουργείο Γεωργίας (2000). Ενεργειακή Γεωργία - Βιομάζα (Κεφάλαιο 4). Πρακτικά συνεδρίου συνάντησης εργασίας "Γεωργία και Περιβάλλον".
17. Χατζηκυριάκου Σ., 2004. Επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV-B) σε νεαρά φυτά βαμβακιού, καλαμποκιού, σόργου, σκληρού σιταριού και ντομάτας.

